

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

PAR

Hassan PARNIANPOUR

PREMIÈRE THÈSE

ETUDE DE LA PENETRATION DES AEROSOLS DANS LES
COUCHES FILTRANTES".

DEUXIÈME THÈSE

POLLUTION DE L'ATMOSPHERE PAR LES GAZ

Soutenues le 19 Juin 1967 devant la Commission d'Examen

MM. BRICARD

Président

BENOIT

BARAT

POUCHEZ

PRADEL

}

Examineurs

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

PAR

Hassan PARNIANPOUR



PREMIÈRE THÈSE

ETUDE DE LA PENETRATION DES AEROSOLS DANS LES
COUCHES FILTRANTES".

DEUXIÈME THÈSE

POLLUTION DE L'ATMOSPHERE PAR LES GAZ

Soutenues le 19 Juin 1967 devant la Commission d'Examen

MM. BRICARD

Président

BENOIT

BARAT

POUCHEZ

PRADEL

}

Examineurs

UNIVERSITE DE PARIS

FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

PROFESSEURS

Le DOYEN..... M. ZAMANSKY

	GRASSE	T Evolution des êtres organisés		DUBOIS J.E.	T Chimie organique physique		HUPE	T Pétrographie
	PREVOST	T Chimie organique		LANOTTE	T Zoologie E. N. S.		HOLLANDE	T Biologie générale
	WYART	T Minéralogie et cristallographie		OLMER	T Energétique générale		LIONS	T Analyse numérique
	TESSIER	T Zoologie		GAUTHIER	T Mécanique appliquée		MAITTE	T Chimie organique
	AUGER	T Physique quantique et relativité		BARCHEWITZ	T Chimie physique		NICOLAS	T Géologie appliquée
	MONNIER	T Physiologie générale		BARCEL	T Physique atomique		PANGEL	T Biologie générale
	PIVETEAU	T Paléontologie		BUSER	T Physiologie comparée		RAVIER	T Pétrographie
	ROCARD	T Physique E. N. S.		CAMUS	T Physiologie végétale		MOREL P.	T Physiologie comparée
	CARTAN	T Mathématiques E. N. S.		CURIEN	T Minéralogie et cristallographie		ROSEAU	T Mécanique théorique des fluides
	LAFITTE	T Chimie générale		POSSOMIPES	T Zoologie		ROUBINE	T Electronique E. S. E.
	N.	T Géométrie supérieure		PULLMANN	T Chimie quantique		SILBER	T Chimie C. P. E. M.
	COULOMB	T Physique du globe		TEILLAC	T Physique nucléaire et radioactivité		UEBERSFELD	T Electronique
	CHRETIEN	T Chimie minérale			T Econométrie		THIRY	T Mécanique céleste
	BOCQUET	T Zoologie		VILLE	T Recherches physiques		ABELES	T Physique S. P. C. N.
	KASTLER	T Physique E. N. S.		FREYMANN	T Chimie minérale		AMAT	T Thermodynamique
	EPHROSSI	T Génétique		ROLLET	T Chimie S. P. C. N.		BALKANSKI	T Physique M. P. C.
	GAUTHIERET	T Biologie végétale C. P. E. M.		JOSIEN	T Géométrie algébrique et théorie des groupes		LE CORRE	T Electricité
	LUCAS R.	Recherches physiques		CHEVALLEY	T Mécanique théorique des fluides		NATAF	T Physique nucléaire et radioactivité
	THOMAS A.	T Biologie		GERMAIN	T Géologie		ECHALIER	T Biologie animale C. P. E. M.
	MORAND	T Physique enseignement		LUCAS G.	T Chimie physique		BARRAUD	T Géologie structurale et appliquée
	SOLEILLET	T Physique C. P. E. M.		ALLARD	T Physique des particules fondamentales		DARS	T Botanique (agrégation)
	FORTIER	T Mécanique expérimentale des fluides		BERTHELOT	T Mécanique des fluides I			T Chimie S. P. C. N.
	DRACH	T Biologie maritime		BRICARD	T Mécanique des fluides II		CAMEFORT	T Automatique
	QUENEY	T Météorologie et dynamique de l'atmosphère		ALBE-PESSARD	T Thermodynamique et mécanique		VICHNEWSKY	T Physique propédeutique
Mlle	GALLIEN	T Embryologie	Mme	JULIA M.	T Physico-chimie des rayonnements		SIGWALT	T Physique théorique
	CAUCHOIS	T Chimie Physique		MAGAT	T Chimie du métabolisme		BLAQUIERE	T Mathématiques propédeutiques
	THELLIER	T Physique du Globe		MONOD	T Chimie des fluides I		BARUCH	T Chimie propédeutique
	PONCIN	T Mécanique générale		BRUN	T Mathématiques (agrégation)		AKHNOUS	T Physique théorique
	DUBREIL	T Arithmétique et Théorie des nombres	Mme	DUBREIL	T Mathématiques II E. N. S.		SLOJNSKI	T Chimie propédeutique
	CAGNIARD	T Géophysique appliquée	Mme	LELONG	T Géologie S. P. C. N.		MALLAVIN	T Chimie propédeutique
	CHAMPETIER	T Chimie macromoléculaire		BELLAR	T Radiochimie		GAUDEMAR	T Mécanique théorique
	CUVELIER	T Micropaléontologie	Mme	BOUSSIÈRES	T Biologie animale C. P. E. M.		BROUSSE	T Astronomie
	TRILLAT	T Microscopie et diffraction électronique		COUTURE	T Thermodynamique et mécanique		ROSCHE	T Physique expérimentale
	WIEMANN	T Chimie organique et structurale		FRANC	T Biologie animale C. P. E. M.		OUY	T Mathématiques M. P. C.
	VASSY	T Chimie organique et structurale		SCHNELL	T Botanique		LAZARD	T Physique M. P. C.
	DESTOUCHES	T Théorie physique		STOLKOWSKI	T Physiologie générale		MOREL P.	T Programmation
	AMEL	T Chimie générale		ACHER	T Chimie biologique		ARSAC	T Chimie M. P. C.
	MATHIEU J. P.	T Physique optique		BAUDOUIN	T Biologie animale C. P. E. M.		LEFEBVRE	T Chimie fondamentale
	COUTEAUX	T Cytologie		BEAUMONT	T Biologie animale S. P. C. N.		EOK	T Biochimie
	CHOQUET	T Théorie des fonctions et topologie		BLAMONT	T Géophysique ionosphère		CHAPPEVILLE	T Physique C. P. E. M.
	FELDMANN	T Biologie végétale marine		BOUREAU	T Botanique		BENOIT	T Chimie C. P. E. M.
	JOST	T Physiologie comparée		CURIE D.	T Physique M. G. P.		RIO	T Géologie E. N. S.
	FORTET	T Calcul des probabilités et physique mathématiques		DURAND DELGA	T Géologie		JAUZEIN	T Biologie cellulaire
	SCHWARTZ	T Calcul différentiel et intégral		HELLER	T Physiologie végétale		PREVOST G.	T Biologie animale C. P. E. M.
	CHOUARD	T Chimie macromoléculaire		TORTRAT	T Calcul des probabilités	Mme	FAVARD P.	T Evolution des êtres organisés
	MALAVARD	T Aviation aéronautique (technique)		CAILLEUX	T Géologie S. P. C. N.	Mlle	CHARNAUX-COTTON	T Chimie C. P. E. M.
	BRELOT	T Analyse supérieure	Mme	MAGNAN	T Chimie électrique		LEQUEUX	T Astronomie
	EICHORN	T Botanique		DAUDEL	T Mécanique ondulatoire		COHEN TANNODJI	T Physique atomique
	BENARD	T Chimie appliquée	Mlle	CHOQUET BRUHAT	T Mécanique analytique et mécanique céleste	Mme	HERVE	T Mathématiques
	DUGUE	T Statistique mathématique		VEIL	T Physiologie générale		PECKER-WIMEL	T Astrophysique
	SOULAIRAC	T Psychophysiologie		LWOF	T Microbiologie		TAVERNIER	T Physique P. C.
	ULRICH	T Physiologie végétale appliquée		SIESTRUNK	T Mécanique physique et expérimentale		DURAND Michel	T Biologie animale S. P. C. N.
	KIRRMANN	T Théories chimiques		CABANNES	T Mécanique théorique	Mme	PASCAUD	T Physique
	CHADEFAUD	T Botanique		CAIRE	T Géographie physique et géologie dynamique		CAGNAC	T Electricité
Mlle	LE BRETON	T Physiologie de la nutrition		COMOLET	T Biologie animale		FALK-VAIRANT	T Physique nucléaire
	LELONG	T Application de l'analyse à la géométrie		DELLOUE	T Physiologie de l'exosphère		KRASNER	T Mathématiques
	DEVILLERS	T Anatomie comparée		HOULLON	T Biologie animale		BENZECRI	T Statistiques
	EHRESMANN	T Topologie algébrique		OLIVIER	T Anthropologie		VINH MAU	T Physique M. G. P.
	FRANCON	T Physique S. P. C. M.		SAMUEL	T Mathématiques (E. N. S. Jeunes filles)		DUQUESNES	T Physique C. P. E. M.
	GLANCEAUD	T Géographie physique, géologie dynamique		DE POSSEL	T Analyse numérique		SCHUTZENBERGER	T Programmation
	GODEMENT	T Mathématiques M. G. P.		CHARLOT	T Chimie analytique		TREMILLON	T Chimie M. P. C.
	PISOT	T Technique mathématiques de la physique		CHATELET	T Chimie C. P. E. M.		FAYARD	T Chimie M. P. C.
	ROCH	T Géologie		MATTLER	T Physique S. P. C. N.		BUVET	T Chimie C. P. E. M.
	SCHATZMANN	T Astrophysique		AUBOIN	T Géologie		AUTHIER	T Minéralogie et cristallographie
	TEMMER	T Chimie biologique	Mme	BENOIT-GUEUTAL	T Physique nucléaire et radioactivité	Mme	BONNEVILLE	T Electrotechnique
	ZAMANSKY	T Mathématiques générales		BOUGIS	T Biologie végétale marine		PUISSEUX DAO	T Biologie végétale
	LENNUIER	T Physique M. G. P.		RIGAUDY	T Chimie S. P. C. N.	Mlle	BERGER	T Géométrie supérieure
	ROUTHIER	T Géologie appliquée		COLLONGUES	T Chimie appliquée		LIBERMANN	T Mathématiques
	TONNELAT	T Mathématiques M. P. C.		DUBERT	T Biochimie		DEBONDER	T Biologie cellulaire
Mme	DIXMIER	T Chimie générale		NOZIERES	T Physique fondamentale		DUFODER	T Electronique I. U. T.
	SOUCRAY	T Electrotechnique		CADIOT	T Chimie organique		SCHAAI	T Chimie C. P. E. M.
	AGRAN	T Chimie systématique		IVANOFF	T Chimie organique		BAUCHOT	T Anatomie comparée
	BRUSSET	T Physique théorique des hautes énergies		FRANCOIS	T Océanographie physique		LANCE	C. P. E. M.
	LEVY	T Chimie biologique		TALBOT	T Zoologie		GRAUD	T Botanique E. N. S.
Mme	CHAX	T Chimie minérale	Mme	NOUCAREDE	T Génie chimique		HULIN	T Physique P. C.
Mme	HUREL PY	T Biologie végétale C. P. E. M.		BRUHAT	T Chimie organique		VIGIER	T Génétique
	PANNETIER	T Chimie générale I		FOURNET	T Mathématiques M. P. C.		GUERN	T Biologie végétale
	NORMANT	T Synthèse organique		DEMEUVELS	T Electricité générale		SLODZIAN	T Physique C. P. E. M.
	YVON	T Théories physiques		FURON	T Mathématiques propédeutiques		LACOMBE	T Logique mathématique
	COTTE	T Physique électricité	Mme	GANS	T Géologie S. P. C. N.		TAVLITZKI	T Biologie cellulaire
				GENEVES	T Génétique		ARVIEU	T Physique C. P. E. M.
							TAXI	T B. A. C. P. E. M.
							COLLENOT	T B. A. C. P. E. M.
							BASSELLIER	T Chimie propédeutique
							BADOUAL	T Electronique I. U. T.

LE SECRETAIRE GENERAL,

R. POULLAIN

A mes Professeurs

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur le Professeur BRICARD, dans le cadre des Laboratoires Associés de Physique des Aérosols. Je l'en remercie très respectueusement.

Je remercie Monsieur PRADEL, Chef du Service Technique d'Etudes de Protection au Commissariat à l'Energie Atomique, qui m'a permis d'effectuer mes recherches dans ses laboratoires. C'est pour moi un agréable devoir de remercier Monsieur BILLARD, Chef de Groupe, et ses collaborateurs, ingénieurs et techniciens, de m'avoir si cordialement accueilli et de m'avoir fait bénéficier de leurs précieux conseils.

Je remercie Messieurs les Professeurs BENOIT, BARAT et DOUCHEZ d'avoir bien voulu accepter de participer au jury chargé de juger cette thèse.

Enfin, je tiens à remercier plus particulièrement Monsieur MADELAINE, ingénieur au Commissariat à l'Energie Atomique, de ses précieux conseils et de son amicale collaboration.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549028_0036

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE

- A - Généralités
- B - Description de la méthode
- C - Détermination du nombre de particules
- D - Montage expérimental

DEUXIEME PARTIE

- A - Pénétration dans les filtres à fibres
- B - Pénétration dans les membranes

TROISIEME PARTIE

- A - Coefficient d'absorption α du filtre
- B - Application et conclusion

INTRODUCTION

La complexité et l'importance des problèmes posés par la pollution atmosphérique ont augmenté par suite du développement industriel. Depuis quelques années, les installations atomiques sont une source de poussières radioactives parfois très dangereuses en raison de leur haute toxicité spécifique. On a été amené ainsi à concevoir des systèmes d'épuration de l'air de plus en plus efficaces. Les filtres les plus couramment employés sont constitués de couches filtrantes ou de papiers de matières fibreuses. La mesure précise de l'efficacité de ces milieux filtrants est donc devenue un impératif de premier ordre ; mais la complexité des mécanismes d'arrêt des particules augmente considérablement les difficultés de la détermination exacte de l'efficacité d'un filtre ainsi que la variation de celle-ci en fonction des différents paramètres régissant la filtration.

Une connaissance détaillée du comportement et de la pénétration d'un aérosol dans un filtre peut donner des informations importantes à la fois sur les propriétés des filtres et sur l'aérosol arrêté. On se propose, dans ce travail, d'étudier avec un aérosol radioactif la pénétration des particules à l'intérieur de différents milieux filtrants.

La première partie est consacrée à un bref rappel des résultats déjà obtenus dans ce domaine et à la description de la méthode expérimentale utilisée.

La seconde partie donne les résultats obtenus avec des filtres composés de matières fibreuses et avec des membranes cellulosiques.

La troisième partie est consacrée à l'examen et à la discussion des résultats obtenus et aux différentes applications de la méthode, notamment dans la détermination du coefficient d'absorption des particules α dans la matière.

PREMIERE PARTIE

A - GENERALITES

Les aérosols radioactifs permettent d'étudier et d'apporter bien souvent une simplification à l'étude de nombreux problèmes de filtration. Dans bien des cas, l'aérosol choisi est le "dépôt actif" du radon ou du thoron en raison de sa facilité de production et de mesure. De plus, les descendants solides de ces deux gaz sont toujours présents dans l'atmosphère et servent de traceurs pour l'étude des aérosols naturels.

Lorsque l'on filtre de l'air contenant ces éléments, les gaz traversent le médium, les produits solides sont arrêtés et pénètrent plus ou moins à l'intérieur du matériau suivant sa nature et son efficacité. Si l'on utilise un filtre "absolu" on peut ainsi mesurer la concentration dans l'air de ces produits solides et éventuellement celle du gaz lui-même, à partir de l'activité fixée sur le filtre. On peut également placer en aval d'un filtre d'efficacité inconnue un filtre témoin et définir l'efficacité du premier à partir de l'activité détectée sur les deux filtres.

Dans le cas d'émetteurs γ ou β la méthode de dosage par comptage direct est pleinement justifiée du fait de la très faible absorption de ces radiations par le filtre.

Dans le cas d'émetteurs α , une partie non négligeable des rayons issus des particules collectées ne sera pas détectée. En effet, le rayonnement issu des particules pénétrant en profondeur dans le filtre peut être complètement absorbé par celui-ci ou avoir perdu tellement d'énergie qu'il ne sera plus susceptible d'être détecté. Pour obtenir la concentration d'un aérosol α à partir d'un comptage direct du filtre, il est donc nécessaire de connaître a priori le pourcentage des rayons α détectés par rapport au rayonnement total émis par les particules.

Ces pertes dépendront :

- de l'énergie de la particule α
- de la nature du filtre
- de la pénétration des particules à l'intérieur de la matière filtrante.

Cette pénétration étant elle-même liée à la dimension et à la nature de l'aérosol, à la durée et à la vitesse de prélèvement.

Cette propriété de l'absorption du rayonnement α par la matière constituant le filtre a été utilisée par différents auteurs pour déterminer la pénétration des aérosols dans un filtre. SHAPIRO [1], en effectuant trois comptages successifs d'un filtre membrane : comptage de la face amont, comptage de la face aval et comptage de la membrane recouverte d'une seconde membrane vierge, détermine l'auto-absorption du rayonnement α du dépôt actif du radon. Il trouve une perte de comptage de 3 % pour des membranes "Millipore".

FONTAN et al. [2], en comparant les comptages effectués en α et en β sur un même filtre, ont déterminé le coefficient de correction à appliquer dans le cas de filtration par filtre SCHNEIDER-POELMAN, rose, jaune et bleu, du dépôt actif du thoron.

Des méthodes basées sur la différence de résolution d'un pic d'une énergie donnée en spectrométrie α ou par comparaison avec l'activité détectée après une attaque chimique du filtre, ont également été utilisées. Ces essais ne peuvent pas conduire à déterminer de façon précise la pénétration de l'aérosol dans le milieu [15].

D'autres auteurs [3] ont examiné la pénétration des aérosols dans les filtres, soit en étudiant les différences de parcours des α émis par les aérosols collectés par un filtre, soit en imprégnant [4] [5] le filtre d'une substance visqueuse se durcissant au séchage et permettant ainsi de pouvoir détacher successivement de minces pellicules de filtre. Dans cette dernière méthode, on ne peut savoir si le fait d'imprégner le filtre ne modifie pas la répartition des particules à l'intérieur du médium filtrant.

Enfin, SILVERMAN et al. [6] ont réalisé des filtres ayant des caractéristiques connues (diamètre des fibres, épaisseur du filtre, etc...) et en les plaçant en série il analyse un aérosol radioactif de ^{65}Zn et en tire des conclusions quant à la composition de leur aérosol.

B - DESCRIPTION DE LA METHODE

Nous décrirons tout d'abord le processus d'analyse du filtre une fois le prélèvement effectué ; on décrira ensuite succinctement l'appareillage et l'aérosol utilisés pour effectuer les différentes mesures.

1° Analyse du filtre

Le poids du filtre à analyser est déterminé à l'aide d'une électro-balance CAHN. Son épaisseur totale est mesurée au palmer et l'on prend la moyenne de plusieurs mesures.

Le médium filtrant est collé sur du ruban adhésif préalablement fixé sur

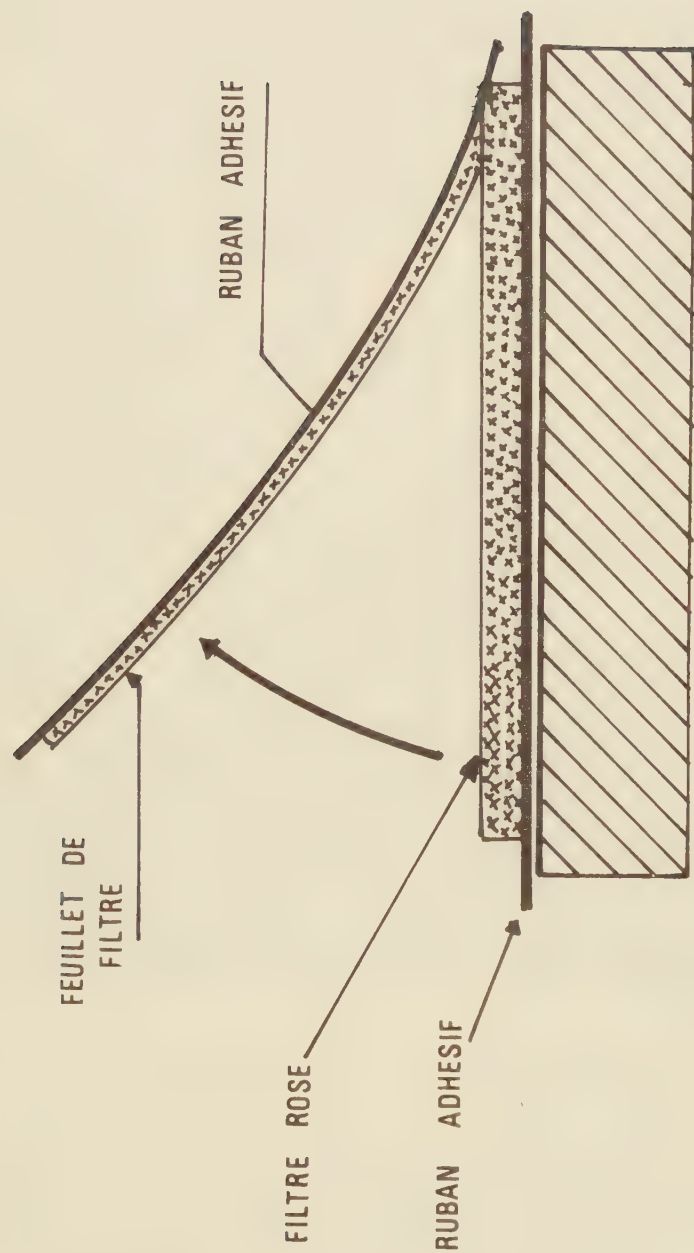


FIGURE 1

un bloc de plexiglas le plus plan possible. Un second morceau de ruban adhésif est alors appliqué avec une pression uniforme sur toute la surface du filtre et l'on décolle ensuite (figure 1). Les photographies de la figure 2 montrent pour différents filtres la pellicule ainsi détachée. Pour que la couche de filtre prélevée soit uniforme et d'épaisseur reproductible pour un même filtre, on applique le second morceau de ruban adhésif à l'aide d'une presse dont la force de pression est mesurée à l'aide d'une clé dynamométrique. L'opération peut être recommencée jusqu'à épuisement du filtre ; on peut obtenir pour une membrane Millipore 25 couches de 6 microns environ et 40 couches de 10 microns environ pour le filtre rose. On peut faire varier l'épaisseur de la couche en modifiant la force de pression de la presse. Nous obtenons ainsi, par exemple avec le filtre rose SCHNEIDER-POELMAN pour un échantillon d'épaisseur 5 microns, une reproductibilité de l'épaisseur déterminée par pesée à 0,23 micron près, soit un écart de l'ordre de 5%.

L'échantillon comprenant le ruban adhésif auquel adhère la mince pellicule de filtre détaché est ensuite découpé, par exemple à un diamètre de 30 mm, pour éliminer les bords qui sont dans certains cas moins homogènes. Cet échantillon est ensuite pesé. Le poids d'un disque (dans notre cas 40 mm de diamètre) de ruban adhésif a été préalablement déterminé en effectuant un grand nombre de pesées sur différents échantillons. Sur quarante disques, un poids moyen de $0,122 \text{ g} \pm 0,0003$ a été retenu ; cette valeur sera déduite pour obtenir le poids de la pellicule de filtre prélevé.

Pour déterminer l'épaisseur de chaque pellicule , on a :

$$\frac{m}{M} = \frac{e}{E}$$

où

m et M sont les poids respectifs de la pellicule et du filtre

e et E sont les épaisseurs respectives de la pellicule et du filtre

On a donc :

$$e = E \frac{m}{M}$$

La précision sera :

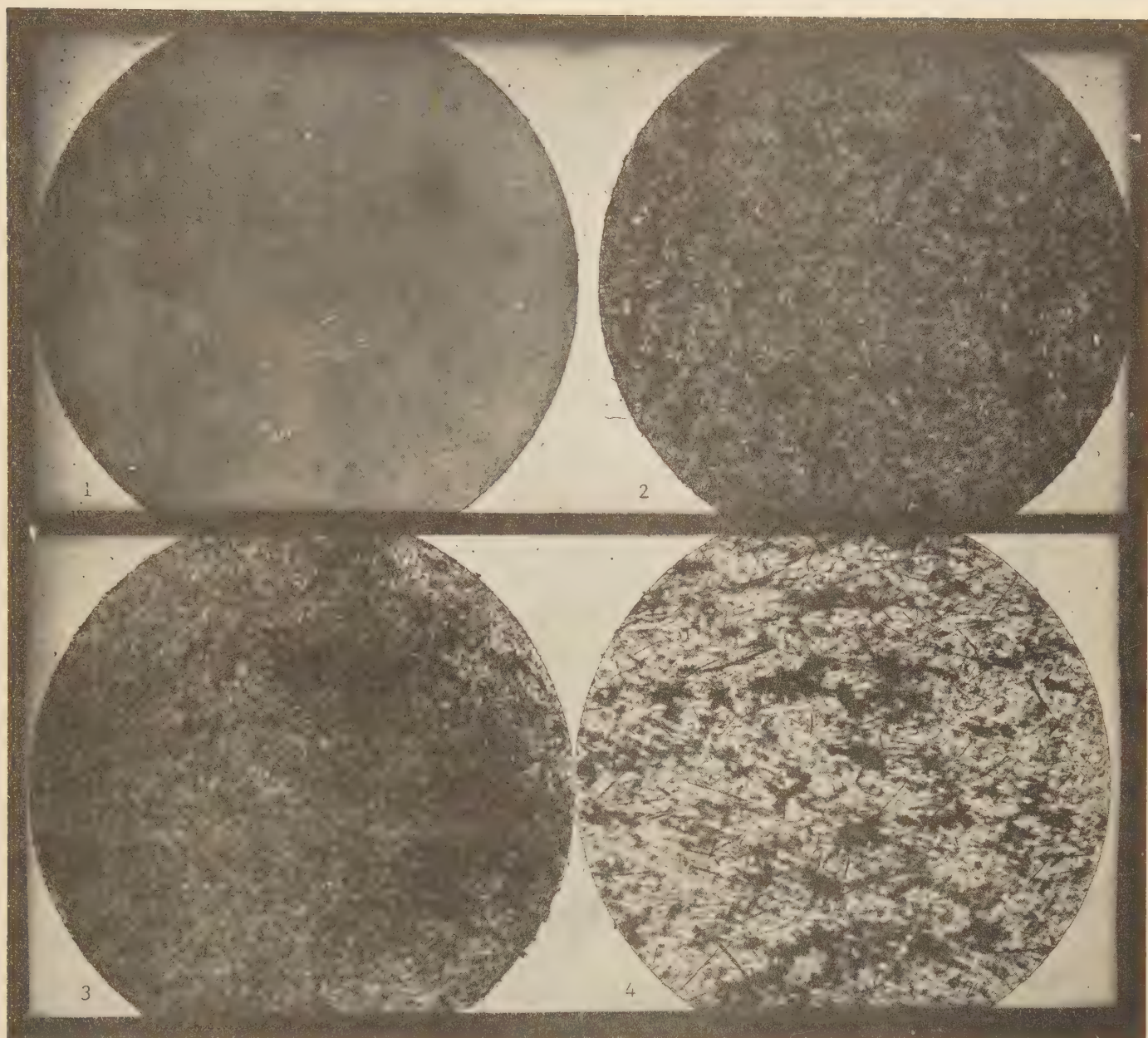
$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta M}{M}$$

Pour une membrane Millipore, on aura par exemple :

- masse de la membrane : $80 \text{ mg} \pm 0,2 \text{ mg}$
- masse de la pellicule : $2,6 \text{ mg} \pm 0,2 \text{ mg}$
- épaisseur de la membrane : $150 \mu \pm 10 \mu$

ce qui donne une précision de l'ordre de 15 % sur l'épaisseur.

La profondeur moyenne correspondant à une profondeur donnée sera :



- 1 Pellicule de filtre membrane Millipore
- 2 Pellicule de filtre Schneider-Poelman
- 3 Pellicule de filtre Delbag
- 4 Pellicule de filtre Saint-Gobain

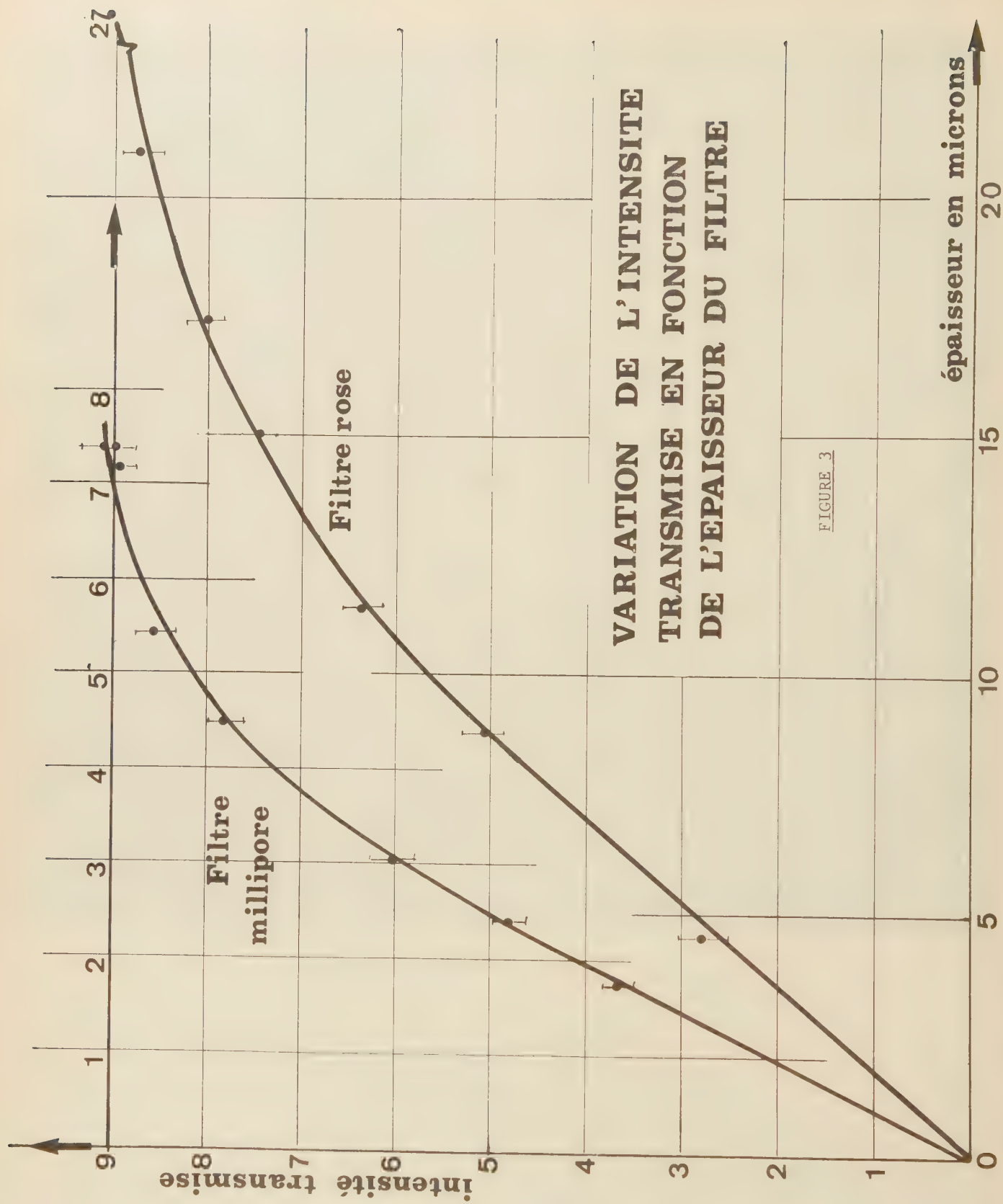


FIGURE 3

$$P_p = \frac{e_p}{2} + \sum_{n=1}^{n=p-1} e_{p-n}$$

Pour systématiser les résultats et obtenir une plus grande rapidité dans la détermination de l'épaisseur de chaque échantillon, on a mesuré, après un étalonnage préalable, l'intensité optique transmise d'une pellicule d'épaisseur connue, il est évident que cet étalonnage ne peut être valable que pour un filtre donné.

L'étalonnage a été effectué de la manière suivante :

On a déterminé la longueur d'onde qui donne le maximum de transmission pour chacun des filtres à analyser ; cette longueur d'onde est de l'ordre de 5 600 Å et ne varie pas de façon importante pour les différents filtres que nous avons étudiés.

On a relié l'épaisseur de la pellicule de filtre déterminée par pesée à l'intensité optique transmise de celle-ci. La figure 3 donne un exemple de la courbe ainsi obtenue.

Il est bon de signaler que l'erreur sur la détermination de l'épaisseur d'une pellicule dépendra des deux paramètres suivants :

- a) du poids de matière pesée dans tous les cas,
- b) de l'hétérogénéité de la pellicule de filtre dans le cas de la mesure optique.

Si l'épaisseur de la pellicule de filtre devient par trop faible, l'incertitude de la pesée augmente ainsi que l'hétérogénéité du filtre. Il faut donc, sauf dans certains cas nécessaires, se limiter à une épaisseur de filtre prélevée compatible avec une bonne précision et avec les buts à atteindre.

Une limite supérieure de la couche de filtre à détacher peut nous être donnée par le parcours maximum d'une particule α d'énergie moyenne.

Si l'on admet en première approximation que le parcours [7] d'une particule α dans la matière est donné par la formule :

$$P_m = P_{air} \times \frac{d_{air}}{d_m} \quad \text{avec } P_{air} = 0,318 E^{3/2}$$

où P_{air} et P_m représentent les parcours en centimètre des particules α dans l'air et dans le matériau considéré, d_{air} et d_m les densités respectives de l'air et du matériau en gramme par centimètre cube, E l'énergie de la particule α en MeV.

On pourra calculer le parcours d'un rayon α , d'énergie donnée, dans un filtre. Prenons par exemple les membranes Millipore : leur poids n'est jamais supérieur à 400 mg/cm³. Ceci, pour un α de 5 MeV (énergie minimum rencontrée dans la pratique), donne un parcours de 130 μ environ.

On peut donc voir qu'il n'est pas nécessaire d'opérer sur des épaisseurs très faibles pour avoir une détermination raisonnable de l'absorption de l'activité fixée dans une couche de membrane. Sauf dans des cas bien précis, on se limitera donc à une épais-

seur de filtre de l'ordre de $10\ \mu$, qui nous donne une précision suffisante pour la pesée et une bonne homogénéité de la couche prélevée.

Nous avons appliqué cette méthode à différents matériaux filtrants ; la limite supérieure d'utilisation peut être assez bien représentée par le filtre "microsorban Delbag", elle ne convient évidemment pas pour les matelas filtrants d'une grande épaisseur.

2° Aérosols utilisés.

Nous avons utilisé comme traceur le "dépôt actif" du thoron, l'équilibre du Th B et du Th C étant atteint. La période de 10 h 6 mn du Th B nous permet d'effectuer un essai sans avoir des corrections de décroissance trop importantes pouvant entraîner des erreurs supplémentaires. Le dépôt actif du thoron a été utilisé fixé ou non sur les poussières atmosphériques.

a) Dans le premier cas, le thoron est admis dans une enceinte étanche de 200 litres contenant de l'air atmosphérique prélevé à 15 mètres du sol. Après un temps de contact de deux heures environ, nécessaire à l'équilibre entre Th B et Th C, l'aérosol est prélevé aux fins d'analyses.

Nous n'avons pas un aérosol rigoureusement monodispersé, mais il a le mérite d'être représentatif des conditions dans lesquelles s'effectuent en général les prélèvements atmosphériques. On peut avoir malgré tout une idée de la répartition granulométrique. En effet, différents auteurs [8] [9] [10] ont montré que pratiquement toute la radioactivité atmosphérique était fixée sur des particules inférieures à $0,2\ \mu$. De plus, dans des conditions identiques, MADELAINE [8] trouve que tous les petits ions ont disparu et qu'un maximum très net d'activité peut être constaté entre 2 et $5,10^{-6}$ cm de rayon, avec un début d'activité à environ $9,10^{-7}$ cm. En résumé, on peut faire l'hypothèse que la radioactivité est pratiquement concentrée sur un aérosol dont le rayon moyen est de l'ordre de $3,10^{-6}$ cm. Le nuage particulaire est composé de particules portant des charges électriques négatives et positives et de noyaux de condensation radioactifs électriquement neutres.

b) Dans le second cas, le gaz radioactif est admis dans la même enceinte mais après que celle-ci ait été préalablement dépoussiérée. L'absence de particule est contrôlée au compteur de noyaux de condensation de la "General Electric" ; on ne peut pratiquement pas mettre en évidence la présence de particules. Il a été montré [11] que dans ce cas, après un temps de séjour d'environ une heure, toutes les particules radioactives sont neutres électriquement et se trouvent fixées sur les impuretés de l'air dont la dimension moyenne mesurée par batterie de diffusion est de l'ordre de $2,10^{-7}$ cm.

C - DETERMINATION DU NOMBRE DE PARTICULES - COMPTAGE RADIOACTIF

La détection du dépôt actif du thoron, fixé ou non sur les particules de l'atmosphère et capté par le filtre, est effectuée par scintillation α . Chaque désintégration α correspond à une seule particule, car la probabilité pour que plusieurs atomes de dépôt actif du thoron se fixent sur une même particule est négligeable en pratique.

Le filtre entier, ou chaque pellicule arrachée, est placé sur un scintillateur constitué par une plaque de rhodoïd transparente sur laquelle on pulvérise du sulfure de zinc activé à l'argent. Le bruit de fond est, dans tous les cas, inférieur à une impulsion par minute.

Les ensembles de détection utilisés sont des ensembles électroniques classiques d'utilisation courant au C. E. A. Ils comprennent :

- un photomultiplicateur de 110 mm de photocathode utile
- un préamplificateur
- un circuit d'entrée à seuil réglable assurant la discrimination des signaux
- une échelle de 1 000 et un numérateur permettant de dénombrer les impulsions.

Dans le cas de comptages simultanés, les détecteurs sont réglés de façon identique à l'aide d'une source de référence qui comprend :

- une pastille d'uranium métal
- un scintillateur de même dimension
- un filtre optique.

Cette source repère a une activité constante et déterminée. Les caractéristiques des photomultiplicateurs (haute tension, discriminateur, etc...) sont fixées pour avoir le même nombre d'impulsions sur chaque ensemble.

La précision de comptage sur les premiers feuillets où l'activité est très importante (supérieure à 1 000 d.p.m.) est grande. Sur les derniers feuillets elle devient plus réduite, l'activité étant de quelques désintégrations par minute.

La grandeur mesurée est :

$$N_N = N_B - N_{MP}$$

où N_N et N_B représentent les taux de comptages nets et bruts de l'échantillon, et N_{MP} le mouvement propre.

On prendra comme valeur de l'erreur statistique de comptage $\Delta N/N$, ce qui donne :

$$\frac{\Delta N_N}{N_N} = \frac{\Delta N_B}{N_B} + \frac{\Delta N_{MP}}{N_{MP}}$$

Dans tous les essais, on ramène l'activité à une valeur par milligramme de filtre.

D - MONTAGE EXPERIMENTAL

Le schéma n° 4 indique le montage expérimental que nous avons utilisé.

L'enceinte V en verre a une contenance de 200 litres, elle est étanche et peut supporter une mise en pression ou dépression de plusieurs dizaines de millimètres de mercure. Dans le cas où l'on travaille en atmosphère dépoussiérée, les filtres D_1 et D_2 sont des filtres roses SCHNEIDER-POELMAN à très haute efficacité.

On peut faire varier l'hygrométrie de l'enceinte de moins de 4 % à plus de 90 %. On utilise une source de ^{210}Po pour éventuellement faire disparaître les charges électrostatiques du filtre à analyser. Les débits de prélèvements peuvent être réglés de un litre à 60 litres par minute par un col sonique et les volumes d'air prélevés sont totalisés par un compteur à gaz de précision. Pratiquement tous les essais que nous avons effectués l'ont été avec de l'air ayant une hygrométrie de 4 %. Des essais à 50 et 90 % nous ont donné des résultats à peu près similaires.

SCHEMA EXPERIMENTAL

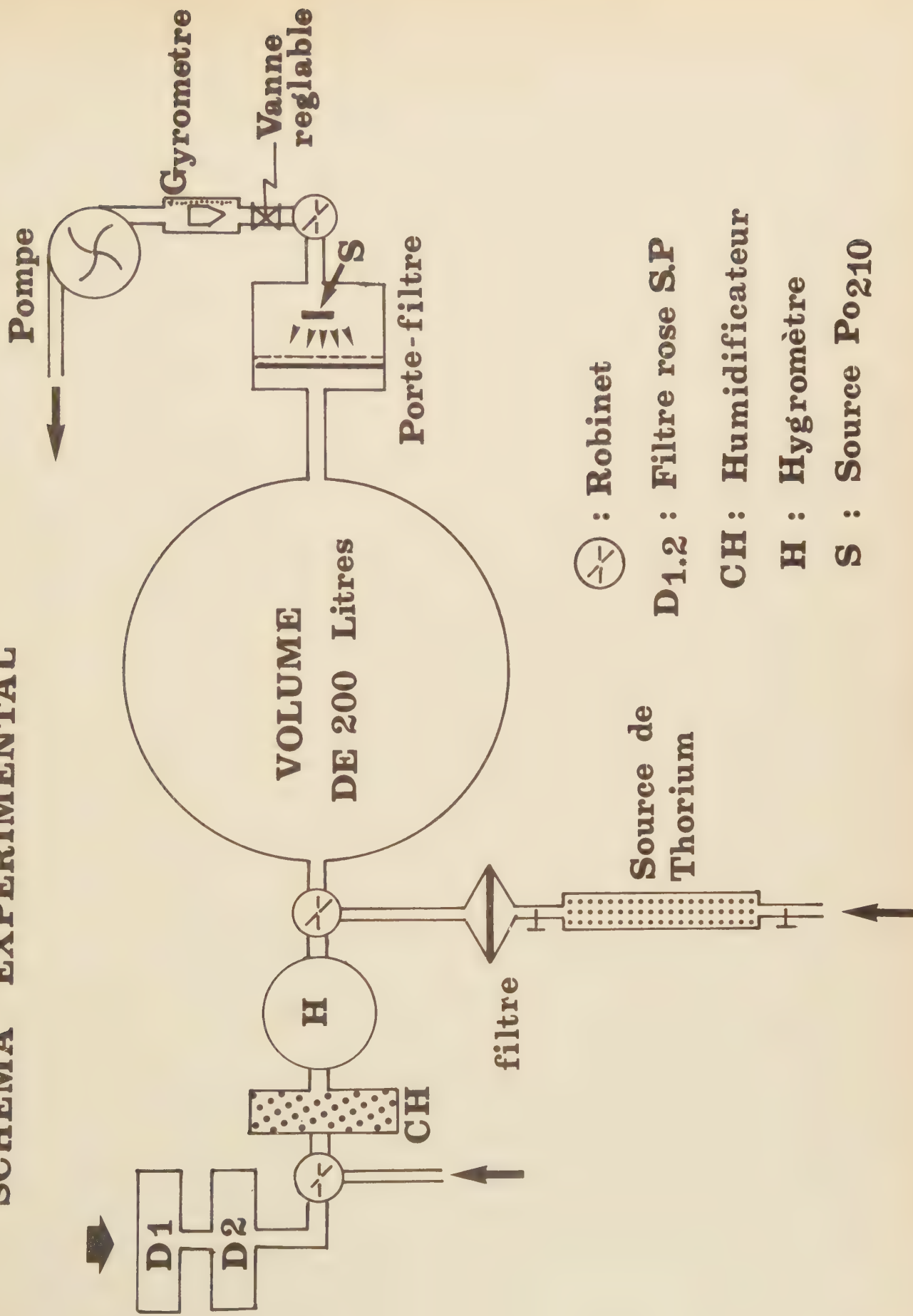


FIGURE 4

DEUXIEME PARTIE

Pour avoir une allure générale du phénomène et préciser les limites d'utilisation de la méthode, on a tout d'abord examiné la pénétration du dépôt actif du thoron fixé sur les poussières atmosphériques pour une série de filtres que nous avons voulu représentative des différents matériaux filtrants utilisés. Le tableau n° 1 résume les caractéristiques que nous connaissons sur ces différents filtres.

Les conditions d'expérience sont les suivantes :

- durée de l'aspiration : 30 mn
- vitesse de passage sur le filtre : 10 cm/s
- hygrométrie de l'air : 40%

La figure n° 5 représente les variations du pourcentage relatif de l'activité détectée en fonction de la profondeur de pénétration dans le filtre, la figure n° 6 donne le pourcentage cumulé.

En examinant ces courbes, on peut avoir une idée générale de la pénétration des particules.

Tout d'abord, on constate que le minimum de pénétration de l'aérosol est observé sur les membranes cellulosiques Millipore et le maximum sur le filtre microsorban Delbag. Ce résultat est absolument normal, la texture du filtre microsorban Delbag étant lâche et ce filtre très épais (épaisseur : $2,1 \text{ mm} \pm 0,2$).

On peut, en première approximation, diviser chacune des courbes de la figure n° 1 en deux parties principales :

- une première partie correspondant à l'épaisseur de matière filtrante comprise entre la surface du filtre jusqu'à une profondeur variant entre quelques microns et une centaine de microns suivant la nature du filtre. Elle se manifeste par une croissance de l'activité (donc du nombre de particules) atteignant un maximum variable en grandeur et en position suivant la nature du filtre ;
- une seconde partie, caractérisée pratiquement par une exponentielle dont la pente en coordonnées logarithmiques dépend de l'efficacité du filtre.

Ces résultats généraux étant acquis, nous allons maintenant étudier plus

TABLEAU N° 1

Norme et type	Epaisseur	Structure		Diamètre		Matière	Densité
		fibreuse	poreuse	fibre	pore		
Microsorban Delbag 99, 97	21 mm + 0,2	+		0,1 μ		Macro-molécules de polystyrène	200 g/cm ²
H 97 E	500 μ + 25	+		*		*	
Schneider-Poelman rose	450 μ + 20	+		(7 μ (0,7 μ		Composé de fibre d'alpha et d'amiante dans la proportion 15 % en masse	170 g/cm ²
Mine Safety Appliance (M.S.A.)	320 μ + 20	+		*		Micro-fibres de verre plus 7 % matière organique	61 g/cm ²
Saint-Gobain	220 μ + 20	+		(4 μ (0,1-0,3 μ		Composé fibres de verre de diverses qualités et amiante	103 g/cm ²
Membrane Millipore (SC)	130 μ + 10		+		8 μ + 1,4	Esters de cellulose purs et biologiquement inertes	47,2 g/m ²
Membrane Millipore (AA)	150 μ + 10		+		0,8 μ + 0,05	Esters de cellulose purs et biologiquement inertes	45,8 g/m ²

* échantillon unique non utilisé au C.E.A.

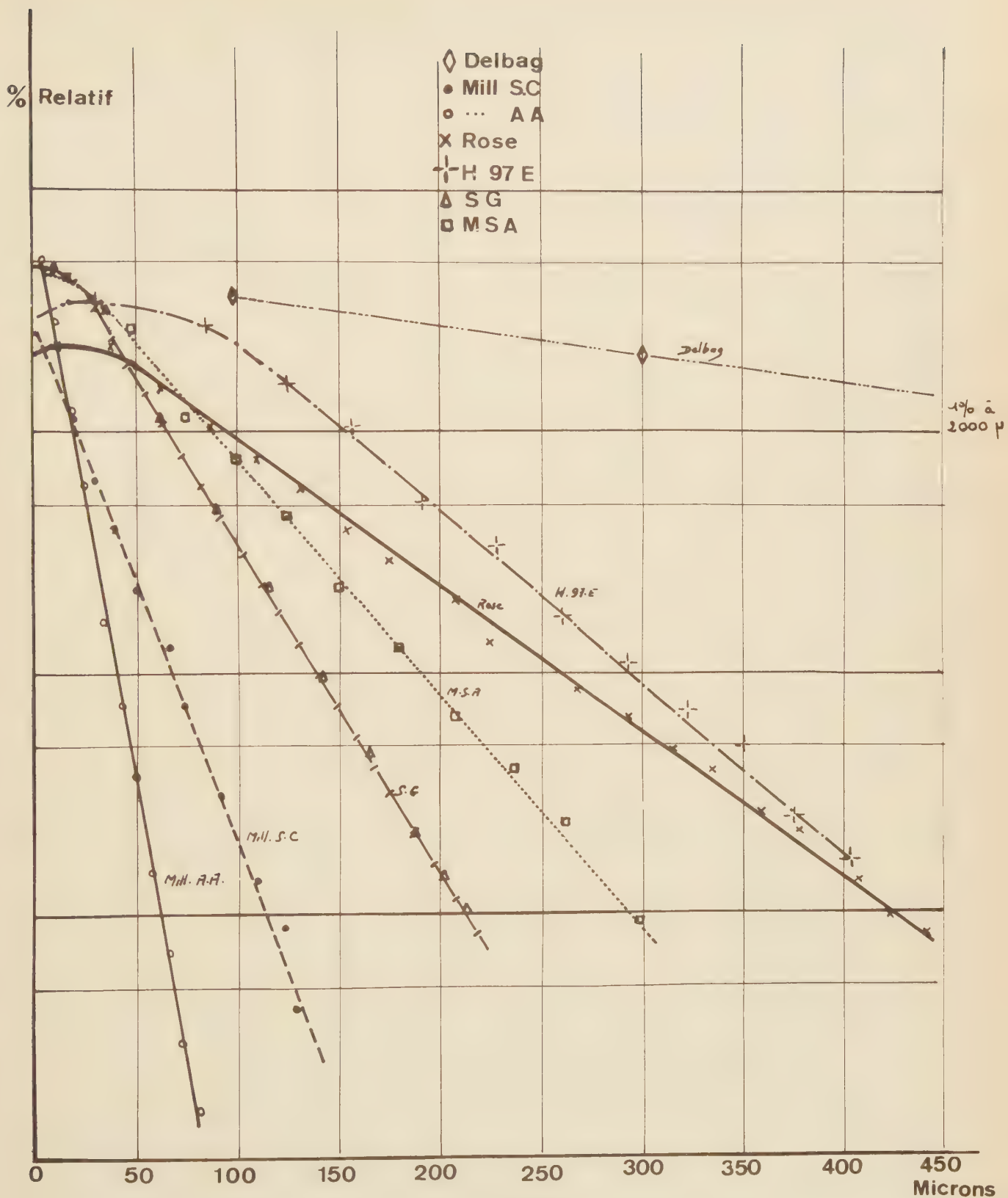


FIGURE 5

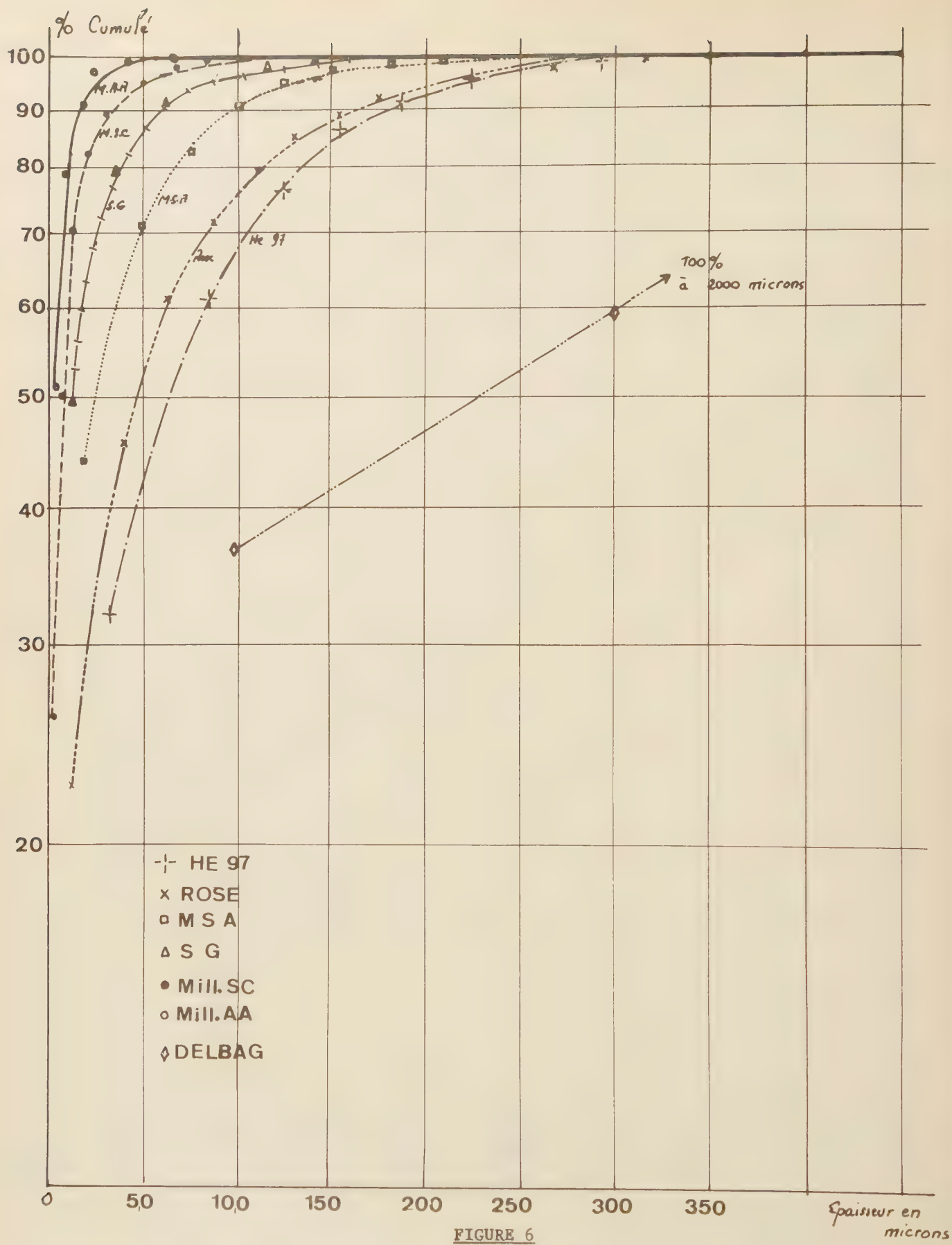


FIGURE 6

en détail la pénétration des aérosols, tout d'abord dans des filtres composés de matières fibreuses et ensuite dans des filtres de structure poreuse tels que les membranes Millipore.

A - PENETRATION DANS LES FILTRES A FIBRES

Nous avons tout d'abord étudié la pénétration à l'intérieur de deux filtres d'efficacités différentes :

- Filtre bleu SCHNEIDER-POELMAN : composé de fibres d'alpha hydro-fugé d'environ $7\ \mu$ de diamètre, épaisseur $175\ \mu \pm 20$, pénétration pour des particules de $0,3\ \mu$ à une vitesse de $1\ \text{cm/s} : 5.10^{-1}$ [12]
- Filtre rose SCHNEIDER-POELMAN : composé de fibres d'alpha hydro-fugé d'environ $7\ \mu$ de diamètre et de fibres minérales (amiante de diamètre $0,7\ \mu$), épaisseur $450\ \mu \pm 20$, pénétration pour des particules de $0,3\ \mu$ à une vitesse de $1\ \text{cm/s} : 1,2.10^{-3}$ [12].

Les essais ont été effectués de façon identique pour les deux filtres dans les conditions suivantes :

- aérosol utilisé : poussières atmosphériques marquées au thorium B
- vitesse de passage : $10\ \text{cm/s}$
- volume d'air prélevé : 600 litres
- durée de filtration : 30 mn.

Les résultats que nous avons obtenus pour ces deux filtres sont transcrits dans les tableaux II et III ci-après.

Les quatre premières colonnes concernent les feuillets qui ont été détachés du filtre :

- la colonne 1 représente le numéro de l'échantillon
- la colonne 2 représente le poids en mg du feuillet détaché
- la colonne 3 représente la profondeur moyenne cumulée en microns
- la colonne 4 représente le taux de comptage en désintégrations par minute par milligramme de filtre.

Les deux dernières colonnes concernent la partie restante du filtre après avoir enlevé successivement les différents échantillons:

- la colonne 5 représente l'activité restante en désintégration par minute sur le filtre
- la colonne 6 représente l'épaisseur restante du filtre en milligrammes par centimètre carré.

La figure n° 7 représente la courbe de pénétration des aérosols dans les deux filtres. Les épaisseurs en microns sont portées en abscisse, les activités en unités arbitraires ramenées à 1 000 pour le premier échantillon, sont portées en ordonnées.

L'allure générale des courbes confirme bien celles obtenues précédemment pour n'importe quel type de filtre.

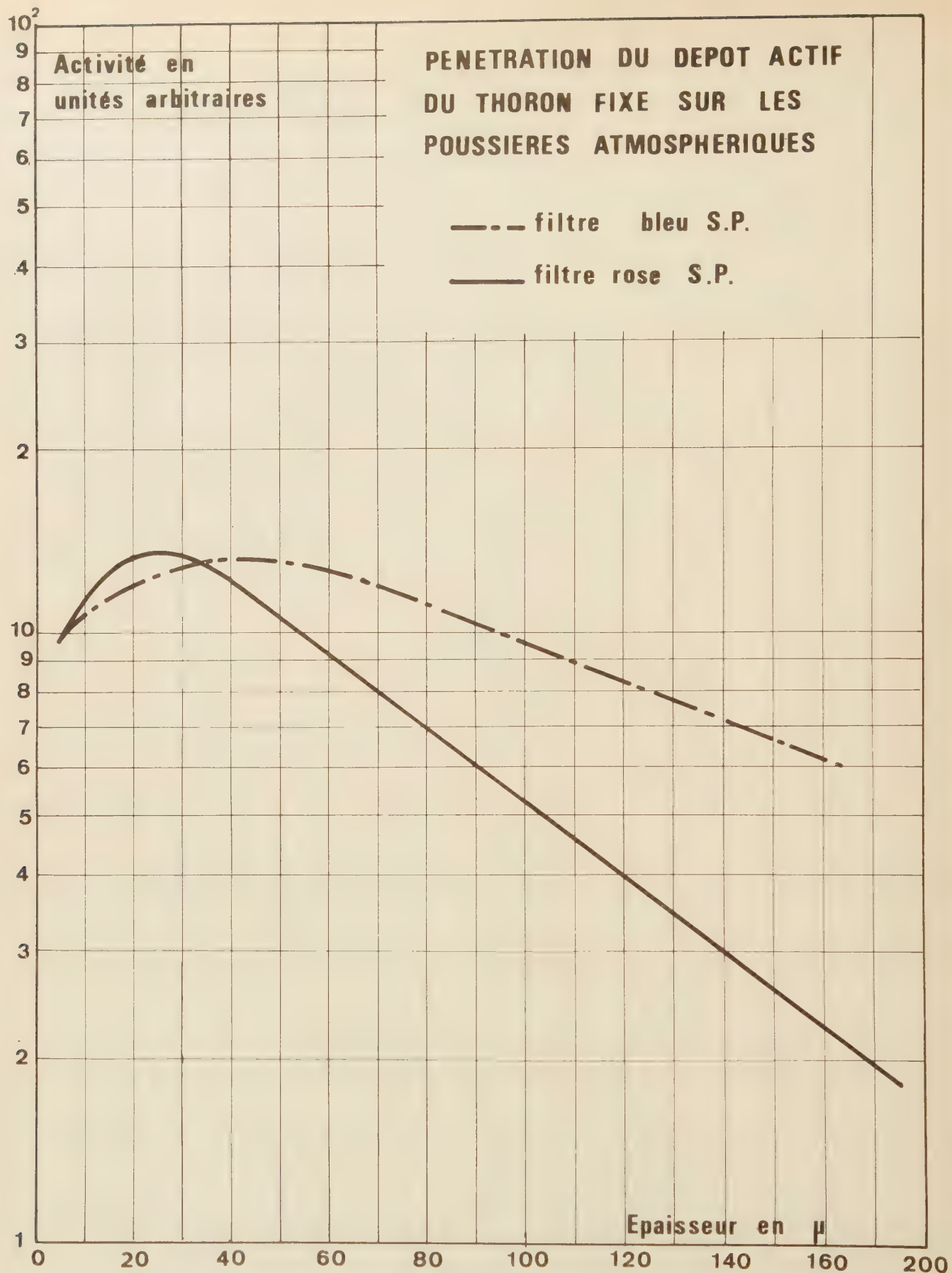


FIGURE 7

TABLEAU II - Filtre bleu.

Numéro des échantillons.	Poids net du feuillet en mg	Profondeur en microns	DPM/mg de feuillet	DPM x a filtre	Epaisseur du filtre en mg/cm ²
1	1,9	1,8	1 000	9 935	6,36
2	3,9	7,5	982	9 709	6,08
3	3,1	16,2	1 103	9 800	5,91
4	3,8	21	1 121	9 048	5,58
5	5,3	29,8	1 315	8 429	5,20
6	8,2	42,9	1 321	7 534	4,60
7	5,1	55,9	1 327	6 942	4,24
8	6,6	67,3	1 133	6 068	3,75
9	7,1	80,6	1 079	5 242	3,26
10	7,1	94,4	1 060	4 215	2,74
11	7,3	108,4	691	3 723	2,20
12	5,3	120,6	884	2 715	1,83
13	8,2	133,7	836	1 732	1,24
14	8,4	149,9	697	760	0,63

TABLEAU III

Filtre rose

Numéro des échantillons	Poids net du feuillet en mg	Profondeur en microns	DPM/mg de feuillet	DPM x a filtre	Epaisseur du filtre mg/cm ²
1	6,3	6,29	1 000	8 889	15,1
2	6,5	18,1	1 315	7 693	14,7
3	5,1	29,1	1 309	6 976	14,3
4	6,1	40,0	1 454	5 539	13,9
5	6,1	51,4	1 061	4 500	13,4
6	7,3	64,2	840	3 666	12,9
7	6,5	77,3	740	2 956	12,4
8	7,9	91,2	556	2 554	11,9
9	7,3	105,7	489	2 071	11,4
10	6,7	119,1	416	1 842	10,9
11	8,8	133,4	317	1 478	10,2
12	7,1	148,6	307	1 200	9,6
13	8,2	163,1	213	1 050	9,2
14	8,3	178,7	164	804	8,5
15	7,6	193,9	153	660	8,0
16	8,1	108,8	113	634	7,4
17	8,3	224,6	100	543	6,8
18	9,0	241	84	430	6,1
19	8,9	258,1	60	380	5,1
20	7,8	273,9	64	337	4,9
21	7,5	288,6	58	263	3,7
22	9,6	304,8	45	207	3,7

Dans la première partie, l'activité croît depuis la surface du filtre jusqu'à une profondeur dépendant de l'efficacité de ce dernier.

La profondeur de ce maximum est située entre 40 et 50 μ environ pour le filtre bleu, filtre le moins efficace, et entre 20 et 30 μ pour le filtre rose, filtre le plus efficace. On constate en outre un étalement plus ou moins prononcé du maximum.

La seconde partie, pratiquement exponentielle pour les deux filtres se traduit en coordonnées logarithmiques par une pente différente pour chacun. On peut caractériser cette partie de la manière suivante :

Si on appelle N_0 le nombre de particules incidentes et dN le nombre de particules fixées dans une couche d'épaisseur dx , on peut écrire :

$$dN = - \mu N_0 dx$$

avec μ un coefficient de proportionnalité que nous appellerons "coefficient d'efficacité" qui a les dimensions de l'inverse du micron si x est exprimé lui-même dans cette unité.

Dans notre cas, puisqu'il ne se fixe qu'un seul atome radioactif par particule, on pourra écrire :

$$dA = - \mu A_0 dx$$

où A est l'activité en désintégration par minute. On obtient après intégration :

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad \text{ou} \quad A = A_0 e^{-\mu x}$$

Pour nous permettre de comparer nos différents résultats, on définira la couche de valeur moitié $C_{1/2}$ ou dixième $C_{1/10}$ qui sont les épaisseurs nécessaires pour réduire l'activité d'un facteur 2 ou dix. On aura la relation :

$$\mu = \frac{0,693}{C_{1/2}}$$

On a donc les résultats suivants :

$$\text{filtre bleu : } C_{1/2} = 95 \text{ microns} \quad \mu = 7,28.10^{-3} \text{ micron}^{-1}$$

$$\text{filtre rose : } C_{1/2} = 50 \text{ microns} \quad \mu = 1,38.10^{-2} \text{ micron}^{-1}$$

Il est intéressant de chercher à expliquer comment varie l'allure générale de ces courbes en fonction des différents paramètres qui influencent la pénétration de l'aérosol à l'intérieur du milieu. On s'intéressera tout d'abord à la première partie de la courbe, c'est-à-dire à expliquer la présence du maximum de particules à l'intérieur des premières couches de filtre. Ce maximum peut dépendre :

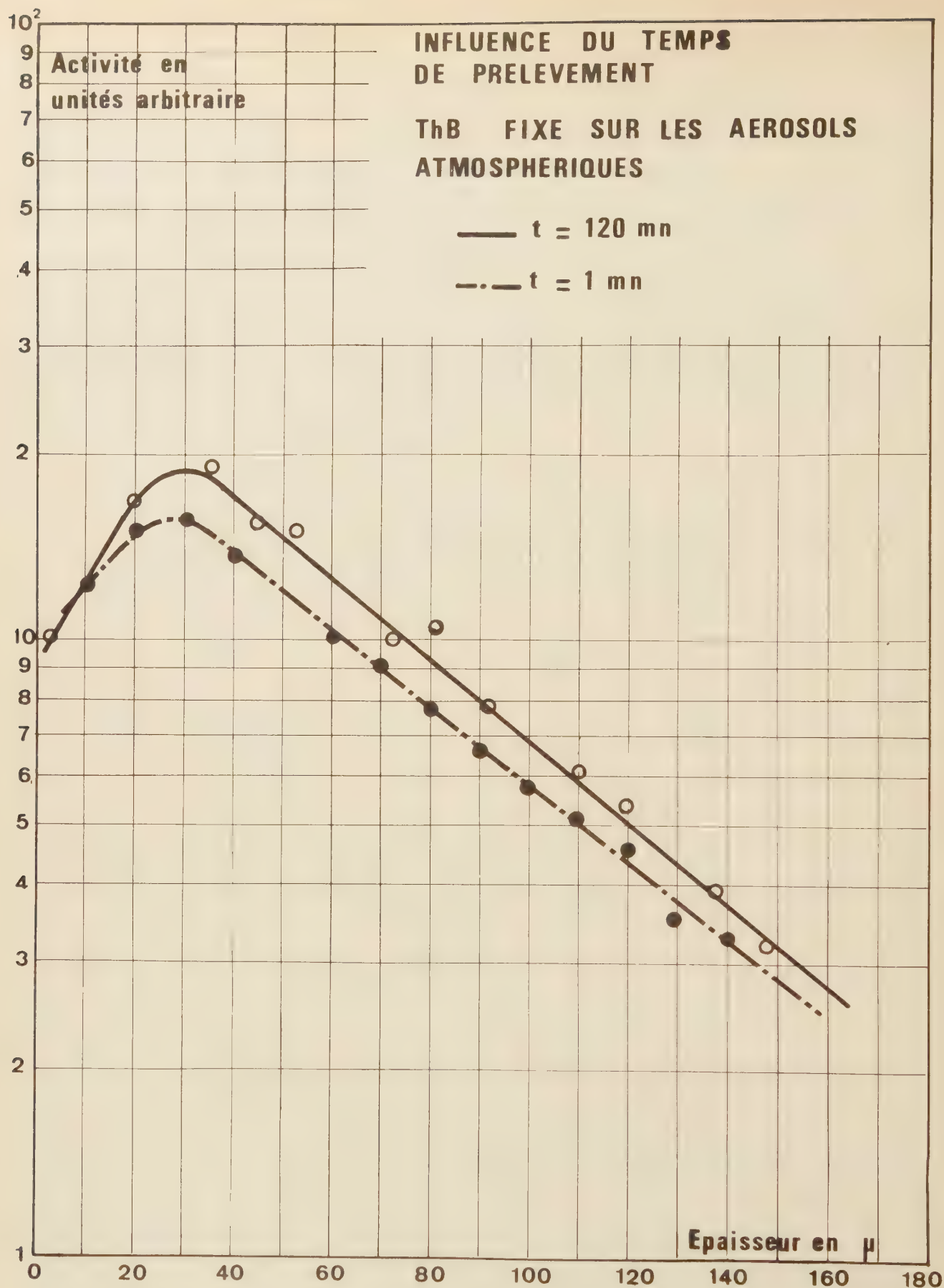


FIGURE 8

- a) de la durée de prélèvement
- b) de la vitesse de prélèvement
- c) de la nature, de la concentration et de la granulométrie de l'aérosol
- d) de la texture du filtre

On a examiné ces variables les unes après les autres pour le filtre rose "S. P. ".

1° Influence de la durée de prélèvement.

On a effectué dans des conditions identiques (même vitesse, même aérosol, etc...) deux prélèvements de durée très différentes : une et 120 minutes.

La figure n° 8 montre les courbes obtenues dans ces deux cas. On peut constater que l'allure générale est sensiblement la même ; en effet, on ne peut pas conclure à un déplacement notable de la forme ni même de la position des maxima qui se situent toujours à une profondeur comprise entre 20 et 30 μ . La partie exponentielle est aussi pratiquement la même dans les deux cas.

Ce résultat montre que la durée de prélèvement n'a pas une influence importante sur la pénétration de l'aérosol à l'intérieur du filtre, à condition bien entendu qu'il n'y ait pas une quantité de poussière telle que l'on ait colmatage du filtre.

2° Influence de la vitesse de prélèvement.

Nous avons maintenant gardé constant tous les autres paramètres et avons effectué les prélèvements à des vitesses de passage de 10 cm/s et à 55 cm/s. La figure n° 9 résume les résultats obtenus. On retrouve encore bien les maxima à peu près aux mêmes emplacements. Par contre, la pente de la partie exponentielle varie légèrement, ce qui est normal puisque l'efficacité du filtre varie en fonction de la vitesse de prélèvement.

3° Influence de la granulométrie de l'aérosol.

Nous avons effectué une série d'expériences en utilisant le dépôt actif du thoron non fixé sur les aérosols contenus dans l'air ; on a alors un aérosol dont le diamètre moyen est beaucoup plus petit ($r = 2 \times 10^{-7}$ cm). Le seul processus de filtration qui devrait intervenir alors, tout au moins pour les faibles vitesses, est la captation par diffusion.

Nous avons effectué nos essais dans des conditions identiques aux précédents. Les résultats que nous avons obtenus sont transcrits sur la courbe n° 10.

On constate que l'allure générale de la courbe s'est modifiée quelque peu. On n'obtient plus un maximum marqué comme dans le cas du dépôt actif fixé sur l'aérosol naturel, mais pratiquement une partie constante jusqu'à une épaisseur de l'ordre de 20 à 25 μ . L'épaisseur moitié C 1/2 est évidemment différente puisque la granulométrie de l'aérosol a varié.

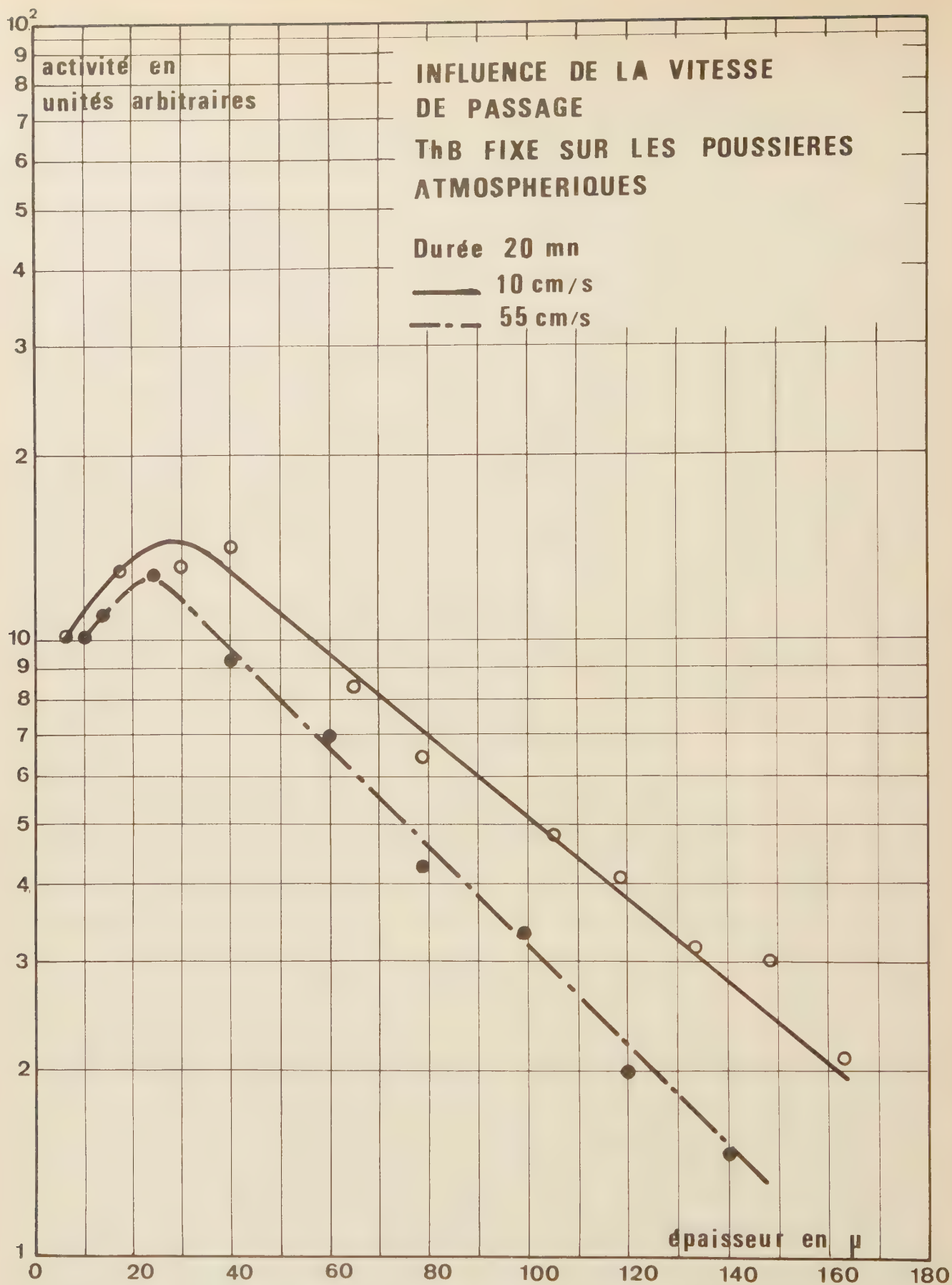


FIGURE 9

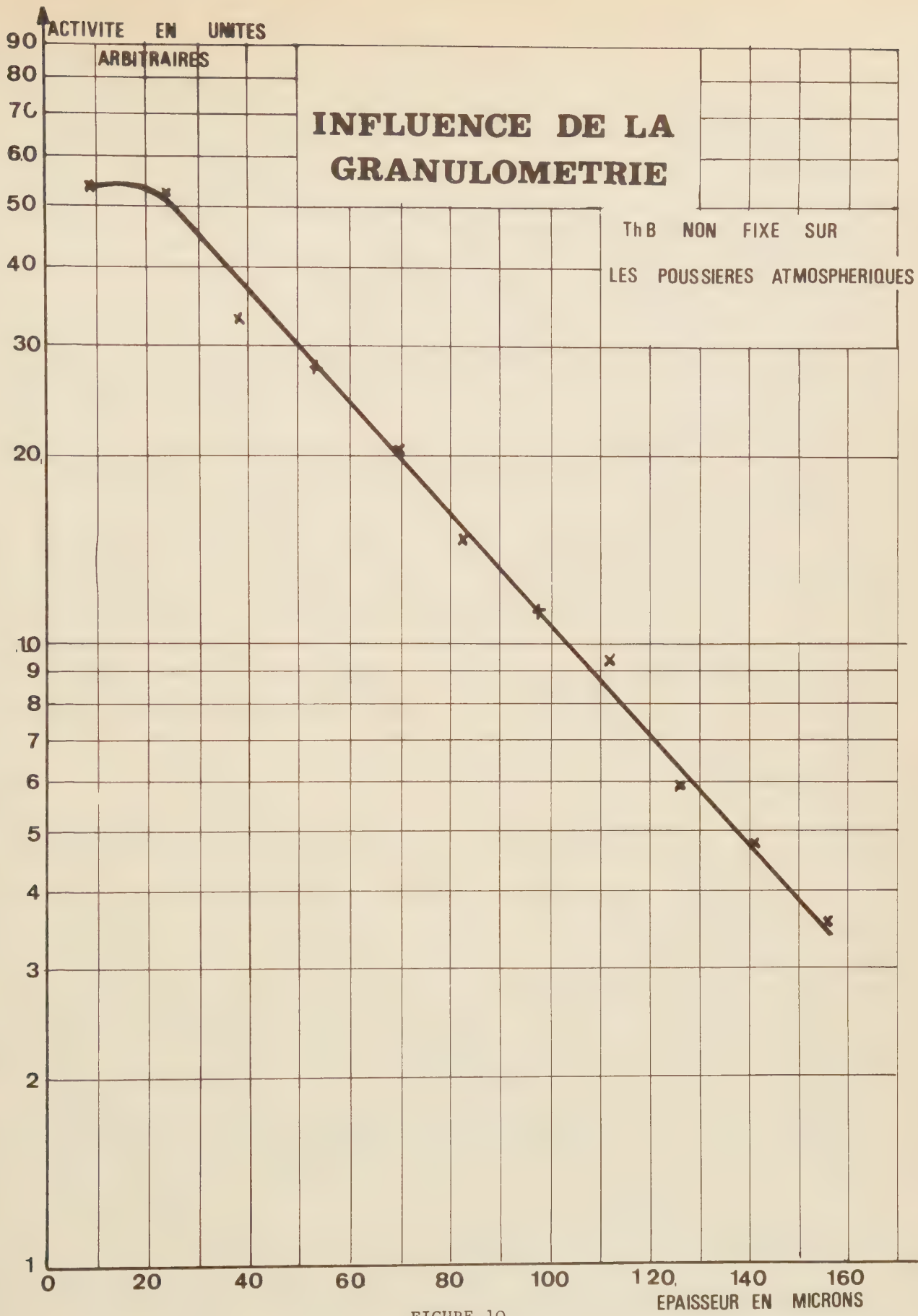


FIGURE 10

On peut constater que dans les différents cas que nous avons examinés il y a une modification brusque de l'allure de la pénétration dans les filtres, cette modification s'effectuant pratiquement à la même profondeur dans tous les cas. Cette conclusion conduit à penser que le filtre n'était pas homogène et que les couches superficielles n'avaient pas la même structure que le reste du filtre.

4° Influence de la structure du milieu.

Pour vérifier l'hypothèse que nous avons émise ci-dessus, nous avons prélevé une couche d'environ 40μ d'épaisseur sur le filtre avant de procéder au prélèvement de l'aérosol.

Les résultats que nous avons obtenus avec l'aérosol de thoron fixé sur les poussières atmosphériques sont représentés sur la courbe n° 11 toutes les autres conditions étant restées les mêmes par ailleurs.

On constate que l'on obtient une exponentielle pour la totalité du filtre. L'épaisseur $C_{1/2}$ étant alors de 60μ .

Il semble donc bien prouvé que la différence de structure du filtre est responsable de ce maximum. Le procédé même de fabrication du filtre amène en surface une partie composée d'une densité moindre de fibre de petite dimension, cette densité de fibre étant décroissante vers l'extérieur. On peut donc imaginer que dans les premières couches de filtre, on a affaire à un filtre d'efficacité variable en fonction de la profondeur. Cette efficacité est ensuite constante dans toute la partie où le filtre est homogène.

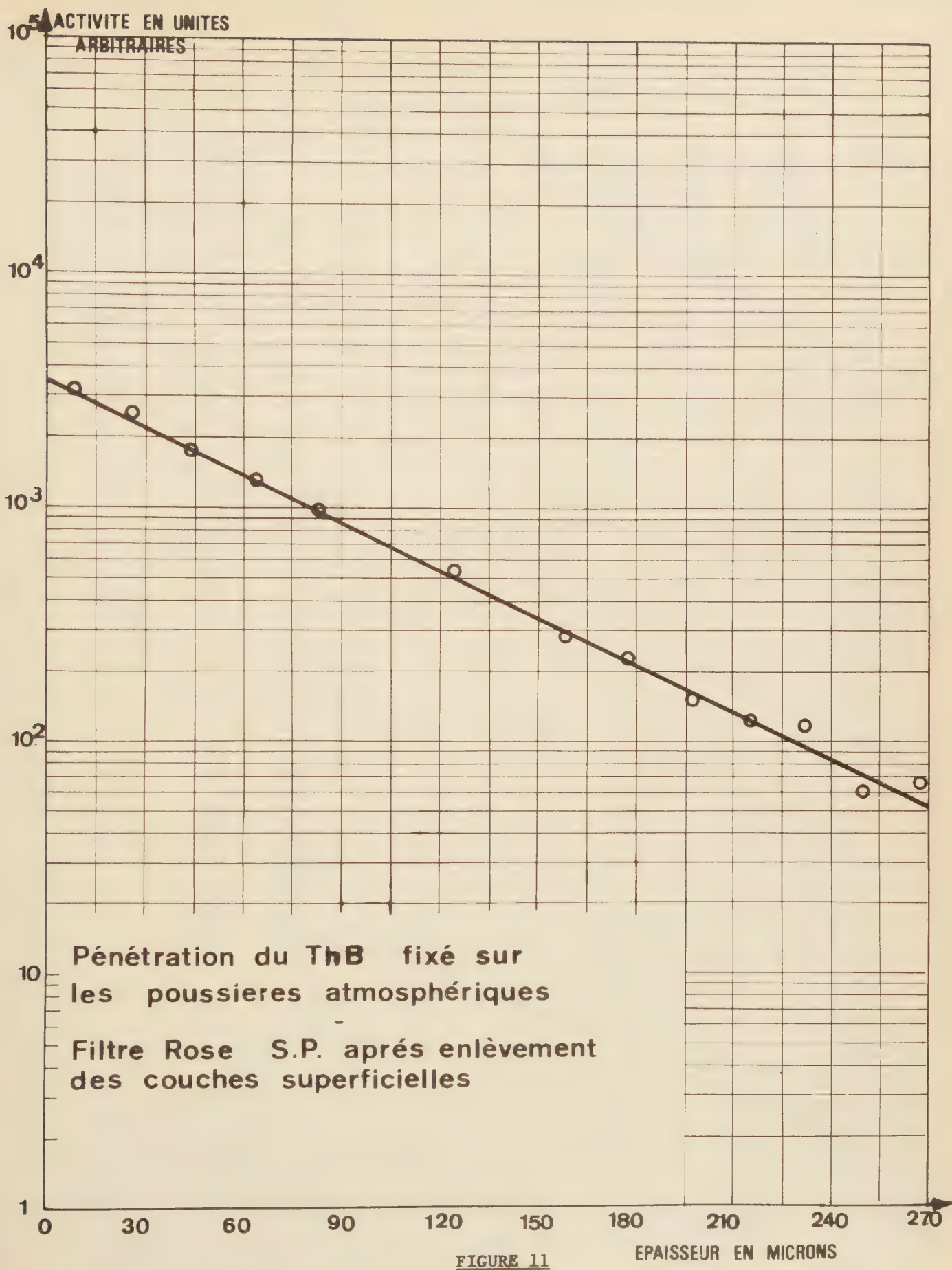
5° Variation de la pénétration en fonction de la vitesse de prélèvement.

Pour préciser la pénétration à l'intérieur du médium, il nous a semblé intéressant d'étudier la variation de cette pénétration en fonction de la vitesse de prélèvement. On a utilisé, pour simplifier le problème, le dépôt actif du thoron non fixé sur les particules en suspension dans l'air, en effet l'aérosol que l'on obtient alors est beaucoup plus défini en dimension. Les premières couches du filtre moins homogènes ont été retirées afin de pouvoir éliminer une cause de perturbation supplémentaire.

Tous les essais ont été effectués dans des conditions identiques (même volume d'air prélevé, même hygrométrie, etc...), on s'est contenté d'étudier le filtre rose SCHNEIDER-POELMAN. Les vitesses de passage choisies sont : 0,1 - 2 - 18,4 - 27,7 et 55 cm/s.

Les courbes n° 12 qui représentent la variation de la pénétration en fonction de la vitesse de filtration mettent en évidence les résultats suivants :

- le maximum a bien disparu, ce qui est normal puisque l'on a prélevé les couches superficielles moins homogènes,
- pour les faibles vitesses (0,1 et 2 cm/s) la pénétration est pratique-



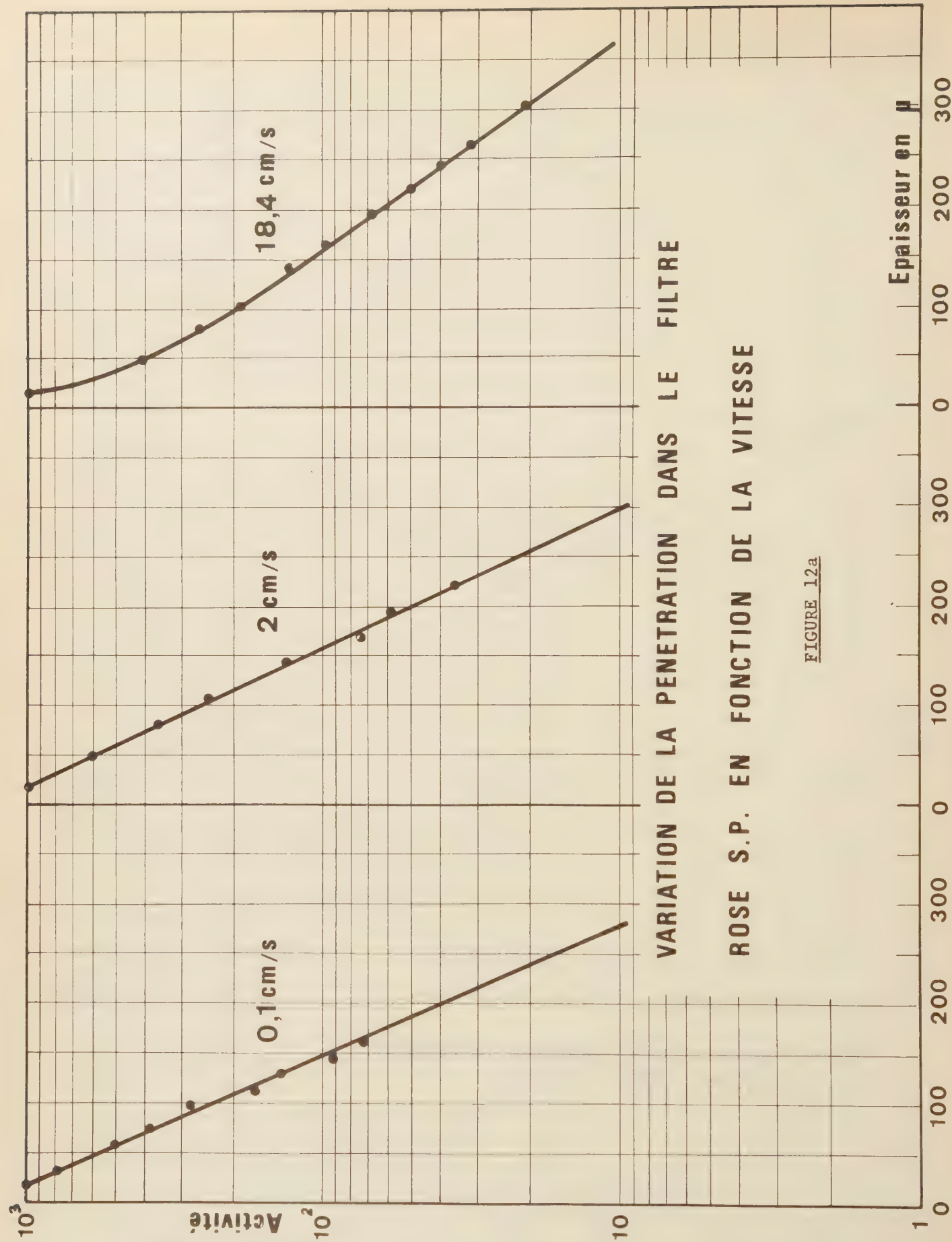


FIGURE 12a

ment exponentielle avec une pente qui, en coordonnées semi-logarithmiques, augmente légèrement avec la vitesse,

- pour les vitesses plus importantes (18,4 - 27,7 et 55 cm/s) on a apparition dans la première partie du filtre d'une portion de courbe qui n'est plus exponentielle,

- dans ce dernier cas, la profondeur à laquelle la pénétration devient une exponentielle pure augmente en fonction de la vitesse de passage. On trouve respectivement pour les vitesses de 18,7 - 27,7 et 55 cm/s une profondeur de 75, 125 et 200 microns.

On peut interpréter ces résultats en remarquant que pour les très faibles vitesses et pour des particules de l'ordre de quelques millièmes de microns, le seul mécanisme susceptible d'intervenir dans la captation est la diffusion laminaire, mais au fur et à mesure que la vitesse augmente on a apparition d'un régime turbulent donc d'une captation des particules par diffusion turbulente ; il n'est guère possible, en effet, de parler d'impact pour des particules si petites, l'épaisseur croissante de la partie non exponentielle en fonction de la vitesse serait due à la longueur d'établissement du régime laminaire pur.

L'analyse des courbes obtenues semble montrer qu'elles se composent de deux exponentielles de pente différente : la première correspondant au régime de captation par diffusion turbulente, la seconde au régime de captation par diffusion laminaire. La pente des courbes en régime de captation par diffusion laminaire caractérisée par l'épaisseur moitié augmente avec la vitesse, on obtient en effet :

0,1 cm/s	:	$e^{1/2} = 38$ microns
2 cm/s	:	$e^{1/2} = 43$ microns
18 cm/s	:	$e^{1/2} = 62$ microns
27 cm/s	:	$e^{1/2} = 74$ microns
55 cm/s	:	$e^{1/2} = 100$ microns.

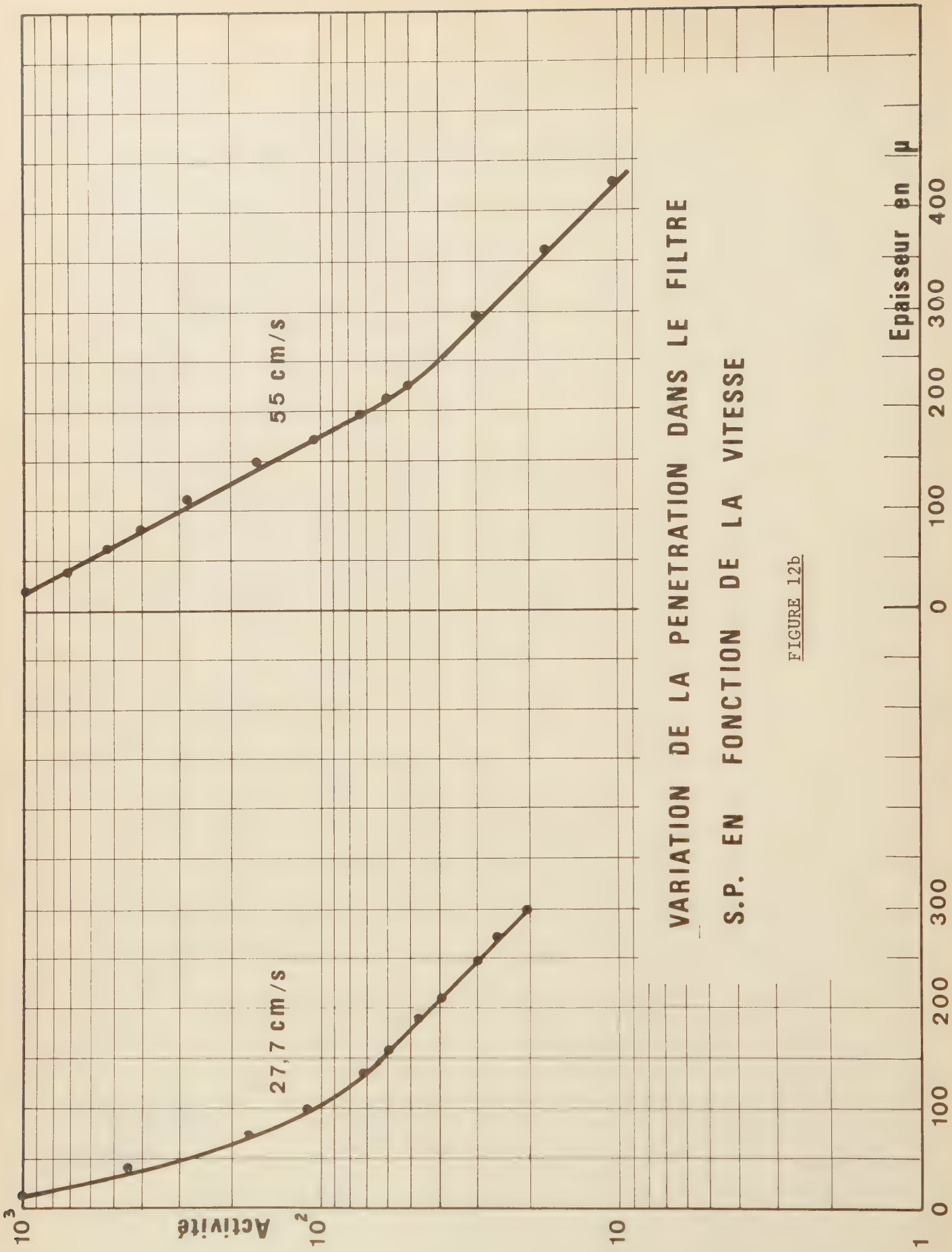
Ce résultat concorde bien avec la théorie généralement admise de l'augmentation de la pénétration en fonction de la vitesse pour la captation par diffusion.

Pour vérifier l'ordre de grandeur du résultat trouvé on a mesuré l'efficacité du filtre rose par rapport à une membrane "Millipore" dont on a supposé l'efficacité égale à 100 % pour l'aérosol de ThB. Cet essai a été effectué à une vitesse de deux centimètres-seconde, on a trouvé :

- activité filtre rose : 27 760 dpm,
- filtre membrane : 122 dpm.

Si l'on tient compte du coefficient d'absorption à travers le filtre rose (voir troisième partie) on trouve une pénétration très peu différente de 3.10^{-3} . L'épaisseur moitié pour le filtre rose SCHNEIDER-POELMAN à la même vitesse est de 43 microns, ce qui donne un coefficient d'efficacité de $1,61.10^{-2}$ microns⁻¹, puisque la pénétration est exponentielle, on peut écrire :

$$\frac{N}{N_0} = e^{-1,61.10^{-2} x}$$



VARIATION DE LA PENETRATION DANS LE FILTRE
S.P. EN FONCTION DE LA VITESSE

FIGURE 12b

x étant l'épaisseur du filtre, qui a été trouvé en effectuant plusieurs mesures au palmer de $400 \pm 20 \mu$, ce qui donne une pénétration comprise entre un et 2.10^{-3} . Cette valeur correspond bien à celle obtenue en mesurant l'efficacité par rapport à la membrane. Ceci pourra s'appliquer que si la pénétration est exponentielle.

6° Conclusion.

De cette série d'essais, il ressort que la pénétration d'un aérosol ultra-fin dans un filtre composé de matière fibreuse fait intervenir deux processus successifs différents.

Un premier que l'on peut qualifier d'effet de surface. Cet effet ne paraît pas lié aux phénomènes propres à la filtration, c'est-à-dire n'est lié ni à la vitesse de prélèvement, ni à sa durée, ni à la granulométrie de l'aérosol, mais dépend de la nature même du filtre. Cette couche superficielle pour le filtre rose SCHNEIDER-POELMAN semble avoir 25 à 30μ d'épaisseur. La forme de ce maximum semble dépendre toutefois des conditions de filtration ; en effet, la hauteur maximum de ce pic en fonction du comptage de la première couche varie suivant les conditions d'expérience. Si on le caractérise par le rapport du taux de comptage maximum au taux de comptage de la première couche, on trouve qu'il varie par exemple de $1,3$ à $1,9$ pour un prélèvement effectué pendant 30 minutes ou pendant 120 minutes. Ce maximum se réduit pratiquement à une droite dans le cas où l'aérosol est composé de particules ultra-fines (rapport $1,01$). Par contre la pente de la partie exponentielle qui vient après varie beaucoup plus suivant les conditions des essais. Si on élimine la partie superficielle moins homogène, on a, aux faibles vitesses, une pénétration exponentielle qui augmente avec la vitesse, pénétration qui peut être qualifiée de pénétration par diffusion laminaire. Aux plus grandes vitesses, on voit apparaître un second processus de filtration que nous avons supposé être de la pénétration par diffusion turbulente. Il semble que dans le domaine de vitesse que nous avons exploré, la pénétration, d'où l'efficacité du filtre, soit constamment décroissante en fonction de la vitesse croissante.

B - PENETRATION DANS LES MEMBRANES.

Les études que nous avons effectuées sur les filtres constitués de matériau fibreux ont été reprises sur des membranes de structures poreuses "Millipore". Ces filtres sont d'utilisation courante en physique des aérosols. Ils possèdent des pores de diamètre sensiblement uniforme. Leur porosité est d'environ 80 %. Plusieurs auteurs ont étudié théoriquement et expérimentalement la rétention des particules par ces filtres. D'après

K. SPURNY et J. PICH [13] on obtient le modèle théorique le plus représentatif de ce type de filtre en considérant la membrane comme composée de capillaires rectilignes ayant pour longueur l'épaisseur de la membrane. Les auteurs pensent que les deux processus principaux intervenant dans la rétention des particules sont : la captation par diffusion répondant aux conditions des équations de la diffusion en régime laminaire dans un cylindre, et l'impaction autour d'un trou circulaire. Les plus grosses particules sont précipitées sur la surface du filtre et les plus petites passent dans les capillaires et sont retenues par diffusion. L'efficacité d'un tel filtre sera alors fonction des deux processus et dépendra des caractéristiques du filtre, de l'aérosol, et des conditions de filtration.

Pour étudier la pénétration d'un aérosol à l'intérieur d'une membrane, on a effectué les essais suivants :

- étude de la présence d'un maximum de concentration en poussières à l'intérieur de la membrane avec un aérosol de ThB fixé sur les poussières atmosphériques
- étude de l'influence du diamètre des pores d'une membrane sur la pénétration de l'aérosol
- étude de l'influence de la vitesse de filtration sur cette pénétration pour une membrane de porosité donnée.

Nous avons également examiné si l'on observait une différence dans la pénétration en soumettant la membrane à une irradiation par les rayons α émis par une source de ^{210}Po durant le prélèvement. Cette irradiation ayant pour but de faire disparaître les charges électrostatiques de la membrane. Le fluide porteur et la membrane étaient conditionnés en hygrométrie, aucune variation significative n'a pu être mise en évidence. Cet essai a été effectué avec des particules électriquement neutres.

1° Pénétration du ThB fixé sur les aérosols atmosphériques.

Deux membranes ayant des diamètres de pore les plus différents possible ont été choisies, la membrane SC diamètre de pore $8 \mu \pm 1,4 \mu$ et la membrane VF diamètre de pore $10^{-2} \mu \pm 2.10^{-3} \mu$. La vitesse de passage est de 3 cm/s, le volume d'air prélevé de 400 litres.

Avec la membrane SC, on constate bien comme dans le cas du filtre rose " SP " un maximum de poussière à une profondeur d'environ 5μ . Pour la membrane VF il ne nous a pas été possible de le mettre en évidence (figure n° 13). On peut donc supposer là encore, que comme dans le cas des filtres fibreux, les parties superficielles n'ont pas une structure identique au reste de la membrane. Cela peut s'expliquer en supposant que près de la surface les pores n'ont pas le même diamètre ou n'ont pas la même forme que dans l'intérieur de la membrane.

Il ne nous a pas été possible d'effectuer, comme pour le filtre rose, un contrôle de l'hypothèse admise d'une hétérogénéité de la membrane en prélevant les couches superficielles, la texture de la membrane étant trop fragile.

2° Variation de la pénétration du ThB non fixé sur les aérosols en fonction du diamètre des pores d'une membrane.

Un paramètre essentiel de l'efficacité d'une membrane pour un aérosol donné est le diamètre des pores de cette membrane. Il est donc intéressant d'examiner comment varie la pénétration d'un aérosol, pour une vitesse donnée, en fonction du diamètre des pores. Nous avons utilisé comme aérosol le ThB non fixé sur les poussières atmosphériques. Nos essais ont porté sur différentes membranes dont les caractéristiques, extraites du catalogue du fournisseur, sont portées dans le tableau n° IV.

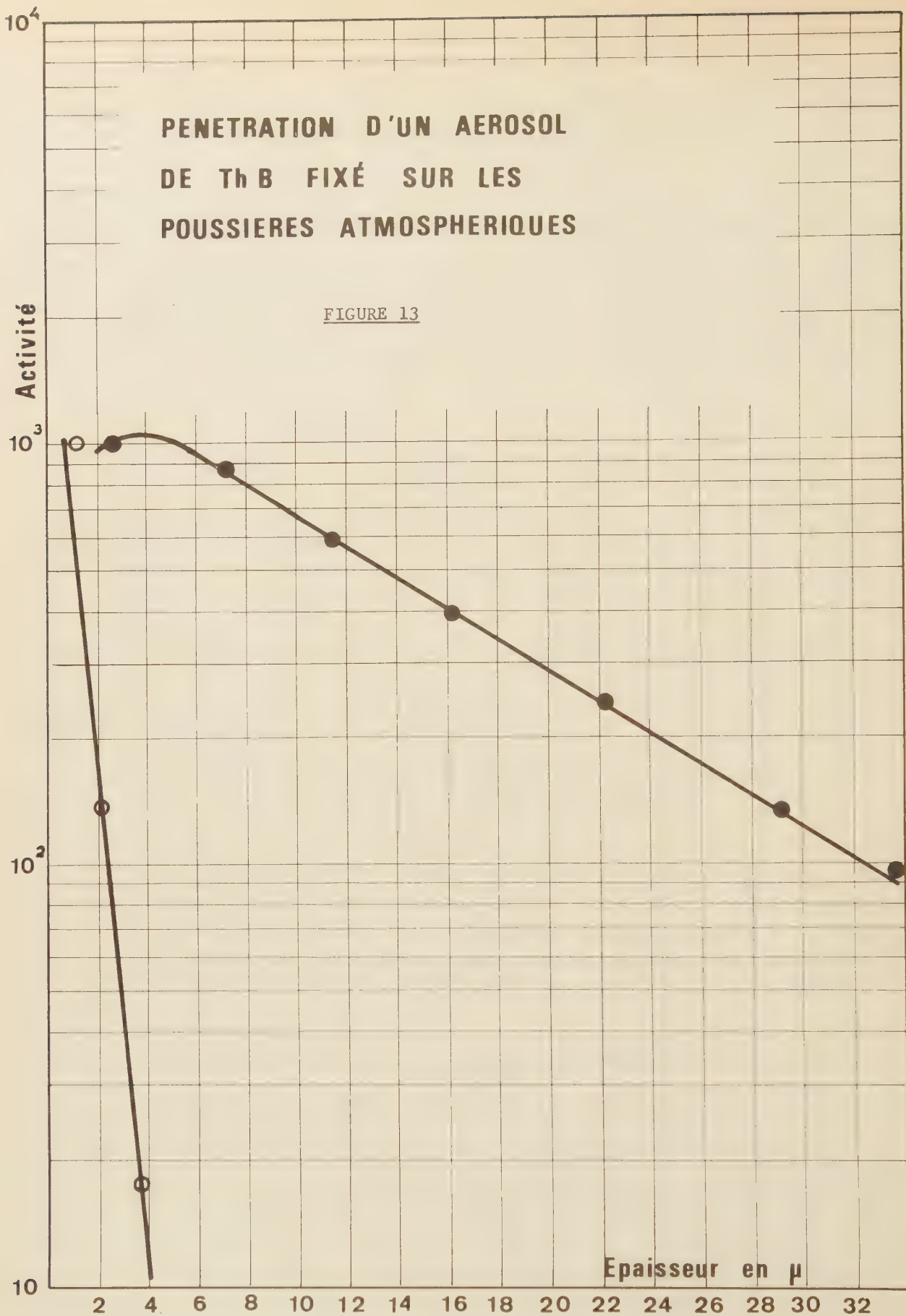
TABLEAU N° IV

Type	Dimension moyenne des pores	Epaisseur	Porosité %	Poids ₂ mg/cm ²
SC	8 $\mu \pm 1,4$	130 $\mu \pm 10$	74	5,2
SM	5 $\mu \pm 1,2$	130 $\mu \pm 10$	84	2,8
SS	3 $\mu \pm 0,9$	150 $\mu \pm 10$	83	3
RA	1,2 $\mu \pm 0,3$	150 $\mu \pm 10$	82	4,2
AA	0,8 $\mu \pm 0,05$	150 $\mu \pm 10$	82	4,7
VC	0,1 $\mu \pm 0,008$	130 $\mu \pm 10$	74	5,6

Les essais ont été effectués à trois vitesses différentes, soit : 0,1 - 4,75 et 27,7 cm/s.

PENETRATION D'UN AEROSOL
DE Th B FIXÉ SUR LES
POUSSIÈRES ATMOSPHERIQUES

FIGURE 13



a) Vitesse de 0,1 cm/s.

La pénétration à l'intérieur de la membrane est exponentielle, ce qui laisse supposer que la dispersion en dimension de notre aérosol n'est pas très grande. Les essais ont été effectués dans les mêmes conditions (même volume d'air prélevé, même hygrométrie, etc...). Les épaisseurs $C_{1/2}$ et le coefficient d'efficacité " μ " représentent la moyenne de trois expériences. On trouve :

membrane 8 microns	$C_{1/2} = 6$ microns	$\mu = 1,15.10^{-1}$ micron ⁻¹
membrane 5 microns	$C_{1/2} = 4$ "	$\mu = 1,73.10^{-1}$ "
membrane de 3 - 1,2 et 0,8 microns	$C_{1/2} = 4,5$ "	$\mu = 1,54.10^{-1}$ "
membrane de 0,1 micron	$C_{1/2} = 0,8$ "	$\mu = 8,66.10^{-1}$ "

Il ne nous a pas été possible de mettre en évidence une différence de pénétration entre les membranes de 3, 1,2 et 0,8 μ . Il semble qu'à cette vitesse très basse, on ne puisse avoir assez de sensibilité pour mettre en évidence une différence de pénétration pour des diamètres très voisins de pore.

b) Vitesse de 5,75 cm/s.

Là encore, comme dans le cas de 0,1 cm/s, la pénétration est exponentielle pour toutes les membranes.

Nous donnons ci-dessous les épaisseurs-moitié et le "coefficient d'efficacité μ " déterminés pour les différentes membranes étudiées.

Diamètre des pores	Epaisseurs moitié	Coefficient d'efficacité.
8 microns	11,2 microns	$6,13.10^{-2} \mu^{-1}$
5 microns	6 "	$1,16.10^{-1} \mu^{-1}$
3 microns	4,2 "	$1,65.10^{-1} \mu^{-1}$
1,2 microns	3 "	$2,31.10^{-1} \mu^{-1}$
0,8 microns	2,6 "	$2,66.10^{-1} \mu^{-1}$
0,45 microns	1,6 "	$4,34.10^{-1} \mu^{-1}$

On observe une augmentation de la pénétration avec le diamètre des pores, donc une diminution de l'efficacité des membranes, résultat qui semble cohérent.

Puisque nous obtenons une pénétration exponentielle dans la totalité du filtre et ceci pour tous les diamètres de pore, on peut penser que l'aérosol utilisé ne présente pas une grande hétérogénéité. Ainsi que nous l'avons signalé au paragraphe B dans

des conditions identiques il a été trouvé par des mesures de coefficient de diffusion une valeur moyenne de l'ordre de $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$ correspondant à des particules neutres, sans doute produites par photolyse des impuretés présentes dans l'air, de diamètre $2,10^{-7} \text{ cm}$.

La captation de ces particules à l'intérieur des canaux de la membrane ne peut se faire que par diffusion. Si l'on reprend les études effectuées par SPURNY et al. on appliquera les formules de TWONEY [14] donnant le rapport des particules captées sur les parois d'un canal cylindrique aux particules incidentes

$$\frac{n}{n_0} = 0,819 e^{-3,656 a} + 0,0975 e^{-22,3 a} + \dots$$

où $a = LD/R^2 U$

avec L : longueur du canal, D coefficient de diffusion des particules, R rayon des pores et U vitesse de passage définie par $U = q/p$, q étant vitesse frontale et p la porosité de la membrane.

Pour un rayon de pore donné, on peut calculer le coefficient de diffusion de l'aérosol que l'on a filtre. On trouve avec les courbes expérimentales pour les membranes 8, 1,2 et 0,45 μ :

$D(8 \mu) = 1,23.10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$	$r \neq 10^{-6} \text{ cm}$
$D(1,2 \mu) = 9,78.10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$	$r \neq 4.10^{-6} \text{ cm}$
$D(0,45 \mu) = 1,94.10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$	$r \neq 10^{-5} \text{ cm}$

Les rayons des aérosols trouvés varient d'un facteur 10 entre la membrane de 8 μ et celle de 0,45 μ . Il semble donc que si l'on examine la pénétration de ces aérosols ultra-fins à l'intérieur des microcanaux d'une membrane, la captation ne suit pas les lois de la diffusion. En effet, même si la détermination du rayon de notre aérosol est entachée d'une certaine incertitude, il est impossible que l'on soit en présence de particules possédant un rayon aussi élevé. De plus, puisque les expériences sont effectuées dans des conditions identiques, il ne peut pas y avoir une telle variation dans le diamètre moyen de l'aérosol.

Ces résultats montrent ainsi que l'aérosol pénètre donc beaucoup plus profondément à l'intérieur d'une membrane que ne le laisserait supposer les lois généralement admises.

c) Vitesse de 27,7 cm/s.

Les résultats que l'on obtient à cette vitesse sont complètement modifiés, en effet, pour toutes les courbes obtenues on constate que l'on n'a plus une pénétration exponentielle simple. La figure n° 14 résume les résultats que nous avons obtenus. Si l'on examine les courbes, on peut voir qu'elles se composent de deux parties principales :

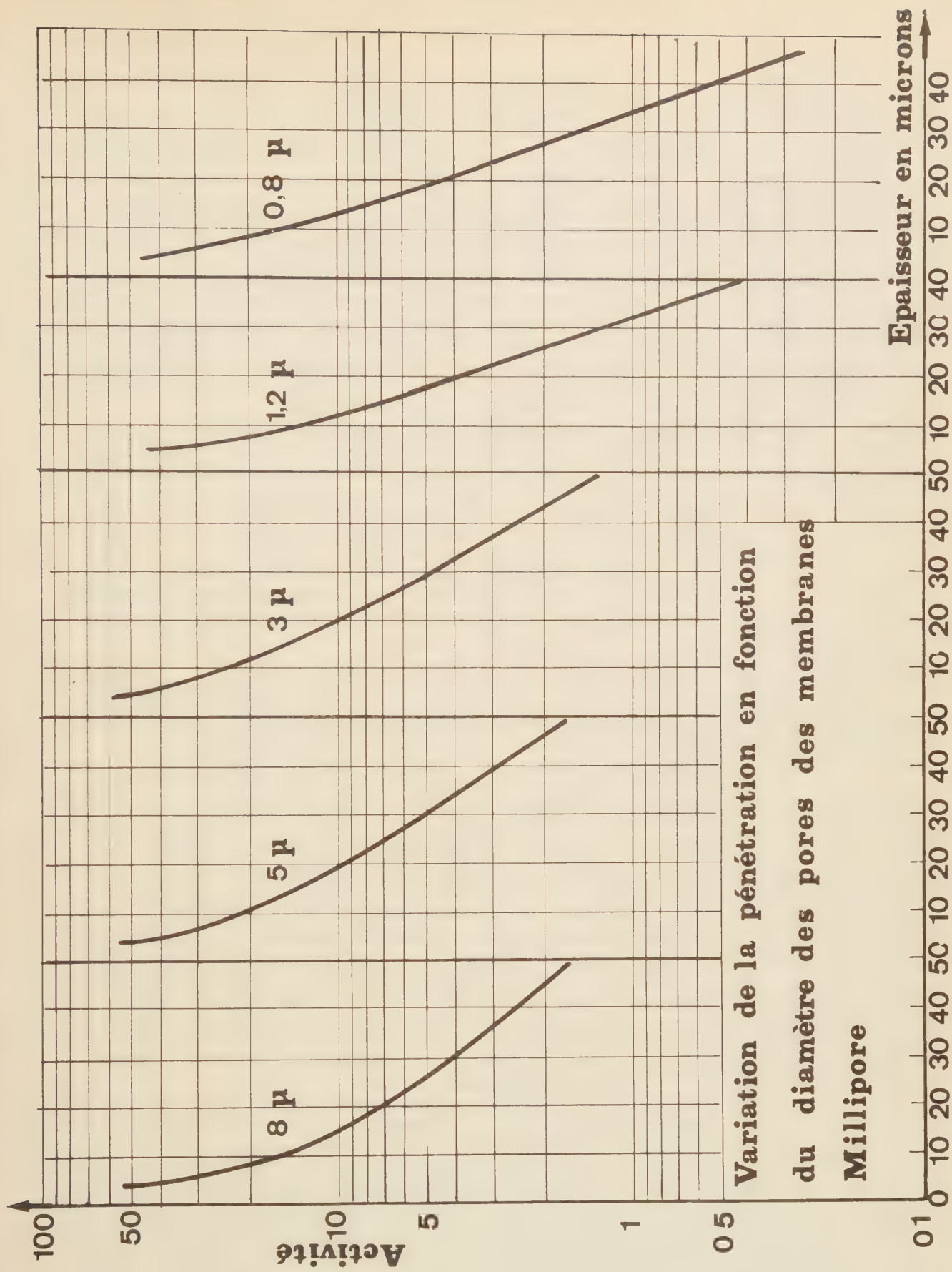


FIGURE 14

- une première partie dont l'importance dépend du diamètre des pores.
- une seconde partie qui, dans le cas précédent, est une exponentielle.

Le raisonnement que nous avons émis pour le filtre rose peut s'appliquer ici, plus le diamètre des pores est grand, plus la longueur nécessaire pour atteindre l'établissement du régime laminaire est importante, cet écoulement étant caractérisé par le nombre de Reynolds proportionnel au diamètre du canal. On notera toutefois que le nombre de Reynolds qui, pour une membrane de 8μ est ici de 0,2 environ, nécessiterait, si on utilise les formules empiriques classiques, une longueur théorique d'établissement du régime laminaire de $0,04 \mu$ sans aucune commune mesure avec la longueur d'environ 25μ où, dans notre hypothèse, le régime commence à être laminaire. Le phénomène semble varier dans ce sens mais les ordres de grandeur ne sont absolument pas respectés.

La pente de la deuxième partie exponentielle augmente avec le rayon des pores, ce qui est logique si on admet une captation des particules par diffusion laminaire.

3° Variation de la pénétration en fonction de la vitesse.

Pour compléter l'étude, on a fait varier la vitesse de filtration pour une membrane de diamètre de pore 4μ . Les résultats que nous avons obtenus sont récapitulés sur la figure n° 15.

Les courbes obtenues, aux ordres de grandeur près, sont similaires à celles du filtre rose "SP" de structure fibreuse. Il semble donc bien que ce phénomène soit général pour n'importe quel type de filtre vis-à-vis d'aérosols ultra-fins.

Si l'on analyse les courbes obtenues aux grandes vitesses ($18,4 \text{ cm/s}$), comme dans le cas du filtre rose, on obtient deux exponentielles de pentes différentes. Les deux pentes augmentent avec la vitesse, donc on observe une diminution de l'efficacité du filtre. Puisque l'on a supposé être en présence d'un aérosol non hétérogène, cela montre que les deux processus de filtration varient dans le même sens. Si l'on observe la variation de la pente (e $1/10$) de chaque exponentielle, après une augmentation rapide, la croissance semble tendre vers une limite. On peut donc penser que si l'on observe un maximum de pénétration en fonction de la vitesse de passage, celui-ci doit être très étalé. Il ne nous a pas été possible de vérifier cette hypothèse à plus grande vitesse, la perte de charge des membranes devenant trop importante.

4° Conclusion.

D'après les résultats obtenus, il apparaît que le comportement des membranes poreuses vis-à-vis d'un aérosol ultra-fin n'est pas fondamentalement différent des filtres à structures fibreuses. En particulier, on constate une certaine inhomogénéité de structure superficielle comme dans le cas des filtres fibreux, toutefois ce phénomène intéresse une partie moins grande du matériau, de l'ordre de 3 à 4 % dans le cas d'une membrane, au lieu de 10 à 15 % dans le cas de filtres fibreux.

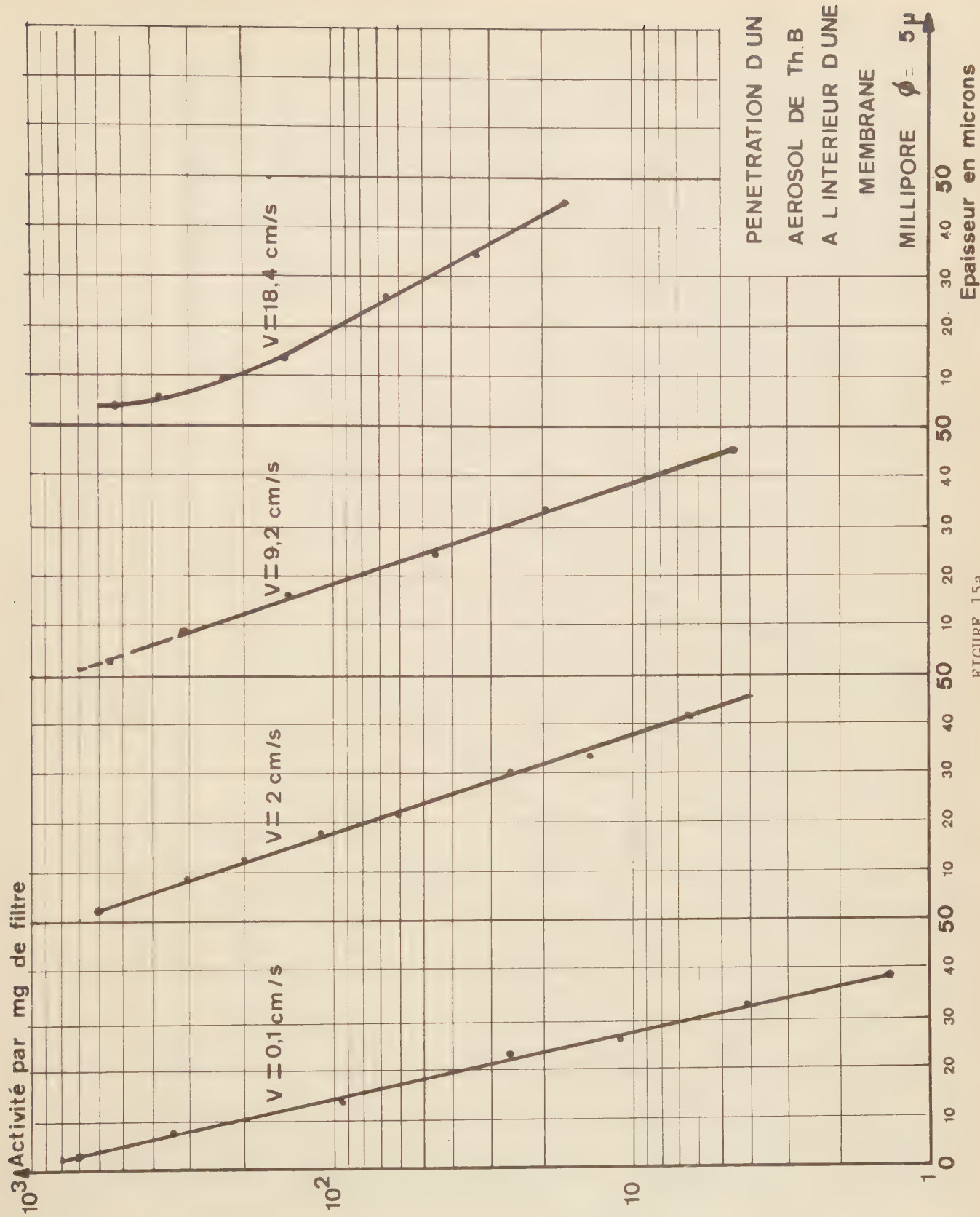


FIGURE 15a

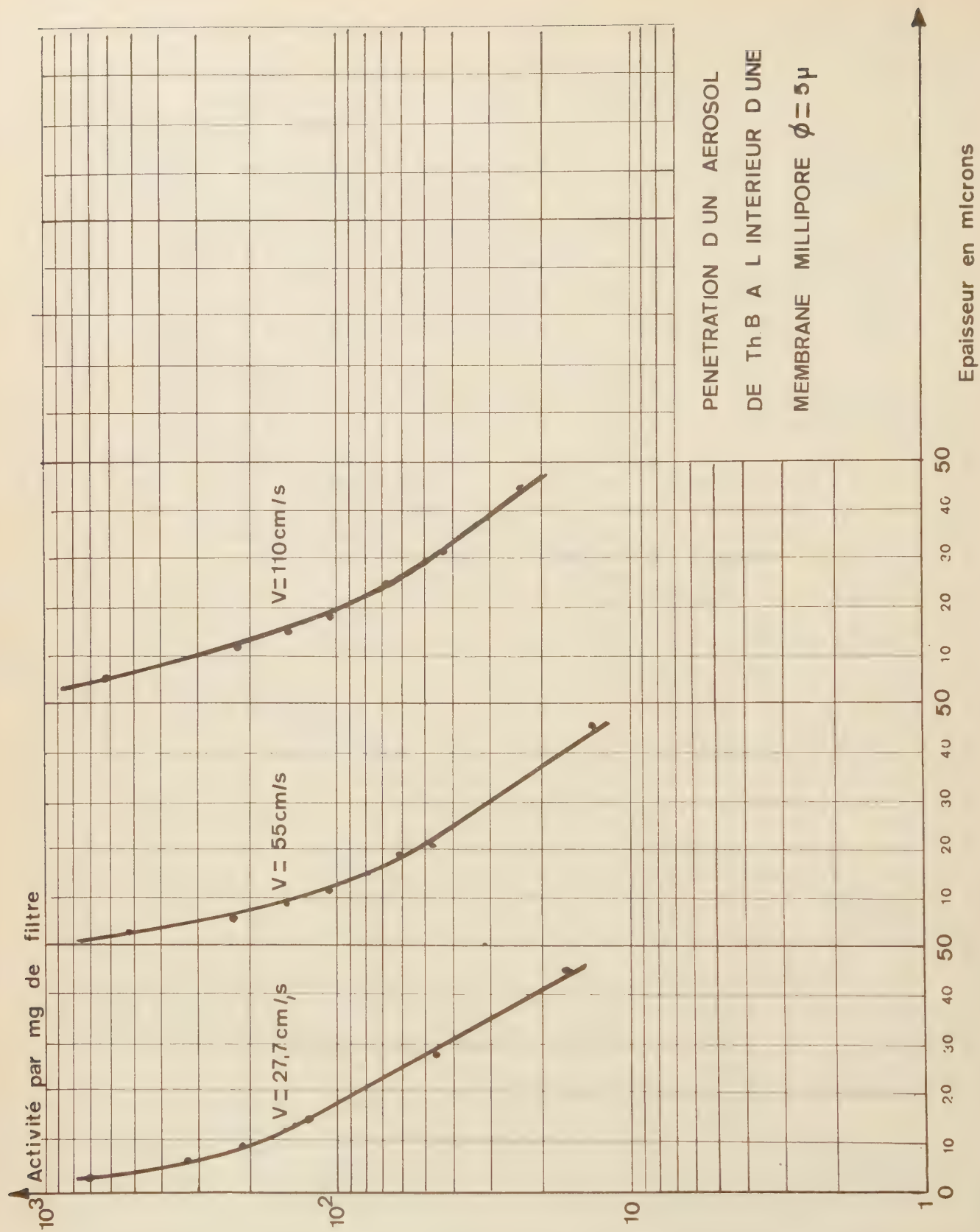


FIGURE 15b

Les variations de pénétration en fonction, soit de la porosité, soit de la vitesse de filtration, évoluent dans le bon sens, mais il apparaît que les ordres de grandeur ne concordent pas avec ce que l'on pourrait attendre d'après la théorie. Sans que cela ait une répercussion importante sur l'efficacité proprement dite du filtre, dans tous les cas, la pénétration est beaucoup plus grande que prévue.

TROISIEME PARTIE

Dans cette troisième partie, nous déterminerons, le coefficient d'absorption pour les rayons α émis à partir de particules ayant pénétré dans le milieu filtrant. On donnera ensuite les diverses autres applications de la méthode.

A - COEFFICIENT D'ABSORPTION α DU FILTRE

Comme nous l'avons signalé au début de ce travail, on est amené très souvent, soit en physique de l'atmosphère ou des aérosols, soit en radio-protection, à déterminer une concentration en aérosols radioactifs à partir d'un comptage α effectué sur un filtre de prélèvement. Dans bien des cas on risque de sous-estimer la quantité d'aérosol prélevée car une partie du rayonnement est, soit totalement, soit partiellement absorbée.

La méthode que nous avons mise au point se prête parfaitement à l'étude de ces pertes de comptage, en effet chaque pellicule de filtre prélevée a une épaisseur de l'ordre de 10μ et l'absorption au sein de cette quantité de matière peut être considérée comme négligeable, voire comme nulle (parcours d'un α de 5 MeV dans une membrane : environ 130μ).

Si l'on totalise les comptages de chaque pellicule, compte tenu des corrections de décroissance s'il y a lieu, et que l'on compare la somme de ceux-ci au comptage du filtre pris dans sa totalité, on pourra déterminer les pertes de comptage et déterminer un facteur "A" que nous appellerons "facteur d'absorption α " pour un filtre et un émetteur α d'énergie donnée pour des conditions déterminées de filtration (vitesse de passage, concentration et granulométrie de l'aérosol, etc...).

Le tableau n° V résume les résultats que nous avons obtenus pour les différents filtres que nous avons étudiés. Ces résultats sont obtenus avec un aérosol de dépôt actif du thoron fixé sur les poussières atmosphériques (air extérieur à 15 mètres du sol à Fontenay-aux-Roses).

TABLEAU V

Vitesse : 10 cm/s

Temps de passage : 30 minutes.

Filtre	Pourcentage des particules (ThC) absorbé dans le filtre	Facteur de correction "A"
Millipore AA	1 %	1,01
Millipore SC	4 %	1,04
Saint Gobain	10 %	1,11
H 97 E	13 %	1,15
M.S.A.	17 %	1,20
Rose (Schneider-Poelman))	36 %	1,56
Delbag	52 %	2,07

Le facteur d'absorption est pratiquement égal à l'unité pour les membranes "Millipore", il est supérieur à 2 pour le filtre "Microsorban Delbag". Ces chiffres ne sont valables que pour le dépôt actif du thoron, c'est-à-dire pour les α du ThC et du ThC' d'énergie respective 6,05 MeV et 8,77 MeV et de proportion 35 % et 65 %. Des essais de dépôt actif du radon ne nous ont toutefois pas donné de résultats significativement différents, en effet, les comptages ayant été effectués après la disparition du Ra A de période 3 mn et d'énergie 5,99 MeV, le corps détecté est le Ra C' émetteur α d'énergie 7,6 MeV, valeur comprise entre celle du Th C et du Th C'.

Les prélèvements étaient de courte durée, le volume d'air filtré toujours inférieur à 2 m³, ce qui permettait de n'avoir sur le filtre qu'un nombre restreint de particules. La quantité de poussière prélevée est en effet un facteur également important, car il peut y avoir une absorption par les poussières elles-mêmes.

La pénétration augmentant avec la vitesse de filtration, on a étudié la variation du facteur d'absorption en fonction de cette vitesse de filtration. Cette étude a été faite sur le filtre rose SP. L'aérosol utilisé est toujours le dépôt actif du thoron fixé sur les particules atmosphériques. Le tableau n° VI et la figure n° 16 résument les résultats que nous avons obtenus.

Le pourcentage de particules α absorbées varie de 15 % environ pour 0,2 cm/s, jusqu'à 45 % pour la vitesse de 110 cm/s, l'allure générale de la courbe confirme les résultats obtenus avec l'analyse de la pénétration obéit à une loi exponentielle pure, le facteur d'absorption croît très rapidement pour augmenter ensuite très faiblement avec la

vitesse. Ce résultat est conforme à ce que l'on pouvait attendre, en effet, il est logique que l'absorption α suive la même loi que la pénétration.

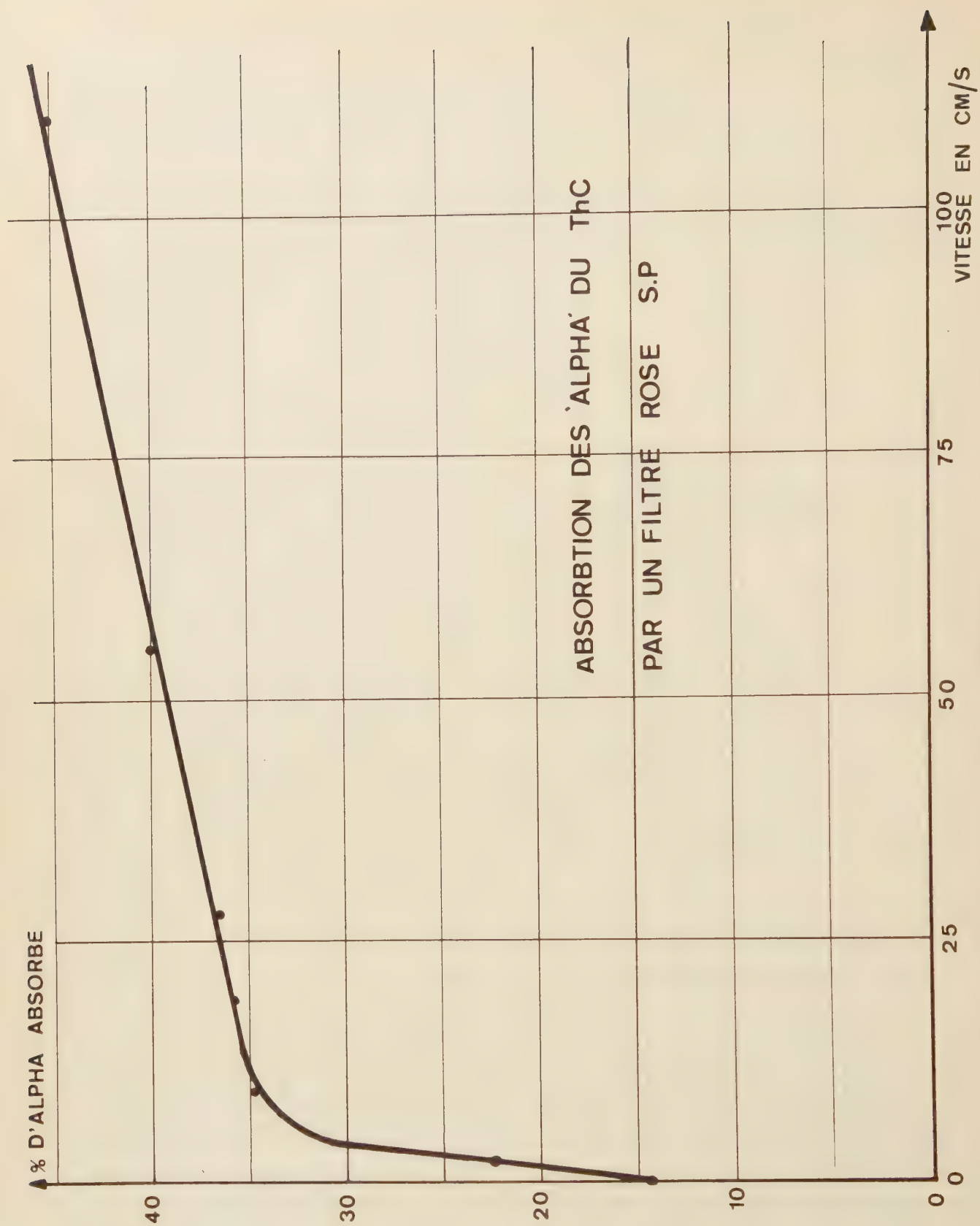
Un point toutefois très important à signaler est la quantité de poussière prélevée et son influence sur l'absorption α . Une série d'essais effectués dans une mine d'uranium où la quantité de poussière radioactive ou non est très importante, nous a donné un facteur d'absorption double de celui déterminé pour un prélèvement à même vitesse, avec même filtre non chargé de poussière. La correction de comptage ne sera donc valable que si la quantité de poussière prélevée sur le filtre est très faible.

TABLEAU N° VI

Vitesse cm/s	Comptage net du filtre A	Somme du comptage des différentes couches B	Différence B - A	Facteur de correction B/A	Pourcentage de par- ticule absorbé par le filtre (A - B)/B x 100
0,2	3 630	4 230	600	1,16	14,2
2	15 763	20 374	4 611	1,29	22,6
9,2	21 390	32 896	11 506	1,54	34,9
18,4	38 088	59 263	21 175	1,56	35,7
27,7	22 633	35 709	13 076	1,58	36,6
55	25 082	41 869	16 787	1,67	40,1
110	33 432	61 036	27 604	1,83	45,2

B - APPLICATIONS DE LA METHODE ET CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons voulu surtout décrire une méthode simple et reproductible permettant d'explorer la pénétration d'un aérosol à l'intérieur d'un filtre. Nous nous sommes limités pour l'instant, à l'étude de la pénétration du dépôt actif du radon ou du thoron, il est bien évident que ceci n'est pas limitatif. On se propose maintenant de travailler avec un aérosol monodispersé dont le diamètre des particules est beaucoup plus important pour mettre si possible en évidence l'influence des différents phénomènes régissant la filtration : impact, inertie, diffusion. De plus, cette méthode est d'ores et déjà étendue à l'étude de la pénétration d'un aérosol polydispersé d'uranine, le dosage s'effectuant sur chaque pellicule par lavage du filtre et mesure de fluorescence.



ABSORPTION DES 'ALPHA' DU ThC
PAR UN FILTRE ROSE S.P

FIGURE 16

Si l'on choisit un filtre de référence et que l'on se fixe des conditions expérimentales (vitesse de passage, hygrométrie, temps de prélèvement, etc...), il n'est pas impensable de caractériser un aérosol par l'allure de la courbe de pénétration. Cette courbe, en effet, pour des conditions données, ne dépend que de la composition de l'aérosol (diamètre et pourcentage des différentes particules). La reproductibilité d'un aérosol d'essai peut ainsi être vérifiée ; de plus, par comparaison d'une courbe obtenue avec un aérosol quelconque, avec des "courbes étalons" représentatives de différentes distributions granulométriques, de précieuses indications peuvent être tirées sur la composition de cet aérosol. Cette méthode peut alors dans certains cas être utilisée pour confirmer ou remplacer des appareils servant à effectuer des granulométries grossières, tels que impacteurs en cascade ou conimètre.

Manuscrit reçu le 24.7.1967.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] SHAPIRO J.
On evaluation of the pulmonary radiation dosage from radon and its daughter products, University of Rochester (1954)
- [2] FONTAN J., BLANC D., BOUVILLE A.
Détermination du rendement de collection des filtres à fibres pour des particules ultra-fines.
Health Physics, 11 15-20 1964
- [3] LASSNER V.
Die Bestimmung der Eindringtiefe von Aerosolen in Filtern
Staub 24 6 217-221 (1964)
- [4] SISEPSKY J.
A method for determination of particle penetration depths in a filter,
Nature 182, 1437-1438 (1958)
- [5] F. BILLARD, G. CHEVALIER, J. PRADEL
Etude de matériaux filtrants et d'appareils de protection à l'aide d' aérosols radio-actifs
Rapport C.E.A. 1524 - 1960
- [6] SILVERMAN N.D., K. TRUITT, BROWNING W.E. Jr., FRANZEN L.F.
Characterization of radioactive particulate aerosols by the fibrous filter analyser
ORNL (1964)
- [7] GUILLIEN R.
Physique nucléaire appliquée, Eyrolles, Paris

- [8] MADELAINÉ G.
Fixation sur les aérosols des descendants des gaz radioactifs naturels,
Note CEA-498 (1964)

- [9] RENOUX A.
Thèse de Docteur ès Sciences, Paris 1965

- [10] MOHNEN V.
Untersuchungen über die Anlagerung von neutralen und elektrisch geladenen Emanations-Folgeprodukten an Aerosole,
Thèse Munich, 1966

- [11] MADELAINÉ G.
Comportement des descendants du radon et du thoron en atmosphères dépoussiérée
Tellus, 18 2-3 593-596 (1966)

- [12] MADELAINÉ G.
Pouvoir d'arrêt des différents filtres, Rapport CEA R-2432 (1963)

- [13] SPURNY K, PICH J.
Diffusion and impaction precipitation of aerosol particles by membrane ultrafilters,
Coll. Czechoslov. Chem. Commun 30 2276-2287 (1965)

- [14] TWOMEY S.
Bulletin de l'Observatoire du Puy de Dôme, 173 (1963)

La partie matérielle de ce travail a pu être réalisée grâce à l'aide du personnel du Service Technique d'Etudes de Protection du Commissariat à l'Energie Atomique.

Une aide précieuse m'a souvent été apportée par Mesdemoiselles CLERC, LEFEVRE et MOREL, et Messieurs CABANE, DELHAYE et DUPORT. Les dispositifs électroniques et mécaniques ont été conçus et entretenus par Messieurs BLONDEAU et REMOLEUR, et le personnel de l'atelier du S. T. E. P.

Je remercie Madame C. IGEL, secrétaire, qui a réalisé la mise en page de cette thèse et Mademoiselle LE POSTEC qui m'a permis de me procurer un certain nombre d'ouvrages se rapportant à cette thèse.

Je tiens à rendre un très vif hommage à toutes ces personnes et à les remercier de la façon si amicale dont elles ont accepté ma présence parmi elles.

DEUXIEME THESE

Propositions données par la Faculté

"POLLUTION DE L'ATMOSPHERE PAR LES GAZ"

Vu et approuvé :

Paris le 26 Juin 1967

Le Doyen de la Faculté des Sciences

Marc ZAMANSKY

Vu et permis d'imprimer

Le Recteur de l'Académie de Paris

Jean ROCHE

